

DIVISIÓN DE CIENCIAS Y ARTES PARA EL DISEÑO

Especialización, Maestría y Doctorado en Diseño

***MANEJO BIOCLIMÁTICO DE VEGETACIÓN NATIVA DE MÉXICO,
DE RAÍZ AUTOADHERENTE, EN ENVOLVENTES
ARQUITECTÓNICAS COMO DISPOSITIVO DE CONTROL
TÉRMICO, APLICADO A UN MODELO DE CASA HABITACIÓN EN
LA CIUDAD DE MÉXICO***

Edwin Israel Tovar Jiménez

Tesis para optar por el Grado de Maestro en Diseño

Línea de Investigación Arquitectura Bioclimática

Miembros del jurado

Dr. Aníbal Figueroa Castrejón
Director de Tesis

Dr. Alfonso Valiente Banuet
M. C. Manuel Domingo Gordon Sánchez
Dr. Víctor Armando Fuentes Freixanet
Dra. Violeta Mugica Álvarez

*México, Distrito Federal,
mayo de 2011*

Dedico este trabajo a mi hija

Sabina Tolpan

Agradezco a mi familia y a los maestros que han contribuido a formar mi pensamiento y mi cariño por este país. De la misma manera, al sistema de educación pública, laica y gratuita que me ha formado.

Por todo el esfuerzo y las circunstancias que me permiten estar aquí, no soy más que un hombre agradecido con la vida.

Resumen

El presente trabajo parte de la inquietud de observar en la ciudad de México poca difusión, uso y conocimiento certero de los sistemas de envolventes verdes en edificios y particularmente, de los contruidos con materiales ligeros. En un segundo momento de reflexión se planteó la posibilidad de obtener un sistema de naturación aplicable a los edificios ligeros, que partiera de un reconocimiento del medio ambiente donde se aplica y del que se tengan valores cuantificables de su comportamiento térmico, energético y ambiental al usarse en un proyecto arquitectónico.

Mediante investigación documental y de campo, se estableció el estado actual de las envolventes verdes en la ciudad de México: sus condiciones de uso, difusión, manejo y el conocimiento que tienen los mismos proveedores de los sistemas acerca de los efectos de la naturación en los edificios y el medio ambiente. Por otro lado se hizo un esbozo de las condiciones ambientales de la Cuenca del Valle de México, la calidad del aire y los principales problemas que se encuentran imbricados con la incorporación de vegetación al medio urbano de nuestra ciudad, dentro de los cuales destacan la problemática del agua y la calidad del aire. Se hizo también un reconocimiento del alcance de las políticas públicas y financieras que pueden motivar o desmotivar el uso de estos sistemas en la ciudad.

Con estos precedentes se integró un sistema de naturación que respondiera a las condiciones ambientales, económicas y constructivas de la ciudad, del que determinamos metódicamente su comportamiento térmico y energético. Se seleccionó y estudió el tipo de vegetación apto para este sistema. Se determinaron mediante análisis en laboratorio los valores térmicos y físicos de comportamiento de la planta y los materiales integrados al sistema, para usarlos en evaluaciones matemáticas de un modelo virtual analizado con Energy Plus (DOE, 2009) a través de su interfaz Design Builder (DSB, 2009). Antes del presente trabajo estos valores eran desconocidos y están ahora disponibles.

Se midió el comportamiento físico real de las plantas en cubos térmicos que se replicaron virtualmente en Design Builder (DSB, 2009) para comparar el desempeño del modelo real con el modelo matemático, procedimiento que usamos para calibrar el modelo virtual. Ya afinado el sistema de naturación en modelo virtual, se aplicó a una casa habitación a la que se intercambiaron los materiales de losa y muros sur, llevándose a cabo ocho simulaciones térmicas anuales, de las que se obtuvieron los resultados de comportamiento del sistema. Se conoció así cuál de los arreglos constructivos acercó más las temperaturas interiores al confort térmico en cada mes. De estos análisis se obtuvo el comportamiento energético comparado y los impactos en producción indirecta de contaminantes, y la asimilación directa de CO₂ que provee la vegetación del sistema. Se cuantificaron las aportaciones térmicas, energéticas y ambientales. Los valores físicos térmicos de comportamiento del sistema que se obtuvieron, podrán ser usados de manera matemática – virtual en posteriores trabajos de investigación y diseño para estimar su comportamiento prospectivo.

ÍNDICE

• Introducción	1
• Estructura Metodológica	4

CAPÍTULO 1. ANTECEDENTES HISTÓRICOS Y ACTUALES LOS SISTEMAS DE ENVOLVENTES VERDES

1.1. Del techo vikingo al green roof	8
1.1.1 Breve historia de los sistemas existentes	8
1.1.2. Antecedentes en México	11
1.1.3. Sistemas técnico-constructivos	12
1.1.3.1. Techos verdes	12
1.1.3.2. Muros verdes	14
1.2. Extensión de uso	23
1.3. Datos energéticos	23
1.4. Aportaciones térmicas	24
1.5. Energía	28
1.6. Economía	28
1.6.1. Beneficios fiscales y contables	29
1.7. ¿Quién los construye?	30
1.7.1. Empresas proveedoras	30
1.7.2. Institutos e investigadores	30
1.7.3. Autoconstrucción	31
1.8. Políticas públicas	31
1.8.1. Programas implementados	31
1.8.2. Normatividad	32
1.8.3. Apoyos, financiamientos y accesibilidad	32
1.9. Conclusiones	33

CAPÍTULO 2. ANTECEDENTES CONSTRUCTIVOS EDIFICACIONES Y ENVOLVENTES VERDES

2.1. Edificios y su envolvente	35
2.2. Sistemas constructivos y materiales	37
2.3. Tendencias constructivas venideras	38
2.4. Envolventes verdes en el D.F.	41
2.4.1. ¿Dónde se han aplicado?	41
2.4.2. Techos naturados	41
2.4.3. Muros vegetales	44
2.5. Techos y muros Vs envolventes verdes	46
2.5.1. Requerimientos de un edificio para ser naturado	46
2.5.2. Conformación geométrica y envolventes verdes	48
2.5.3. Campo de aplicación	49
2.6. Conclusiones	50

CAPÍTULO 3. ANTECEDENTES AMBIENTALES MEDIO AMBIENTE Y ENVOLVENTES VERDES

3.1. Territorio	52
3. 2. Áreas verdes	52
3. 3. Caracterización geológica	55
3. 4. Morfología y fisiografía	56

3. 5. Geohidrología	57
3. 6. Vegetación	57
3. 7. Fauna en la historia de la cuenca	59
3. 8. Flora y fauna urbanas	60
3. 9. Ciudad y agua	61
3. 10. Calidad del aire en la Ciudad de México	67
3. 10.1. Contaminantes	68
3. 10.2. CO ₂	68
3. 10.3. Inventario de GEI	70
3. 10.4. Monóxido de carbono	71
3.11. Derecho humano a un medio ambiente sano	72
3. 12. Isla de calor	73
3. 13. Plantas usadas para naturalizar	74
3.14. Fauna nociva y mutualista	76
3.15. Beneficios que pueden aportar las envolventes verdes	76
3.15.1. Oxígeno	76
3.15.2. Ahorro verde	77
3.15.3. Regeneración ambiental	79
3.16. Fauna funcional	80
3.17. Conclusiones	81

CAPÍTULO 4. OTRO SISTEMA DE ENVOLVENTES VERDES PARA LA CIUDAD DE MÉXICO

4.1. Caracterización climática del D. F. Azcapotzalco	83
4.2. Diagramas Bioclimáticos	84
4.3. Paleta vegetal adecuada al D. F.	86
4.4. Vegetación adecuada a un sistema aligerado	86
4.5. Pitahaya	87
4.5.1. Datos generales	87
4.5.2. Datos taxonómicos	87
4.5.3. Distribución	88
4.5.4. Potencial climático	89
4.5.5. Tolerancia a la contaminación	90
4.5.6. Presencia histórica y cultural	92
4.5.7. Comportamiento metabólico	92
4.5.8. Tolerancia a la radiación	93
4.6. Colecta de plantas	95
4.6.1. Registro de individuos	96
4.7. Densidad del material vegetal	97
4.7.1. Unidad de masa	98
4.7.2. Volumen	99
4.7.3. Proceso de medición	99
4.8. Estimación de RFA	104
4.9. Modelo constructivo	105
4.9.1. Conformación del modelo	106
4.9.2. Materiales	106
4.9.3. Arreglo constructivo	113
4.9.4. Densidad de cobertura	114
4.9.5. Peso del sistema	117
4.10. Mediciones térmicas de materiales	118
4.11. Peso por material	126
4.12. Resultados	127
4.13. Conclusiones	128

CAPÍTULO 5. MONITOREO Y VERIFICACIÓN DE MODELOS TÉRMICOS

5.1. Medición física de cubos térmicos	130
5.1.1. Condiciones de las mediciones	130
5.1.2. Diseño de las mediciones	131
5.1.3. Calibración de data loggers	133
5.1.4. Construcción de cubos	133
5.1.5. Establecimiento de los cubos para mediciones	134
5.1.6. Desarrollo	136
5.1.6.1. Medición 1	136
5.1.6.2. Medición 2	138
5.1.6.3. Medición 3	141
5.2. Verificación del sistema	143
5.2.1. Simulación de cubos en Design Builder	144
5.3. Conclusiones	147

CAPÍTULO 6. SIMULACIONES TÉRMICAS EN UNA VIVIENDA

6.1. Condiciones generales	149
6.2. Arreglos constructivos y materiales de la casa	150
6.2.1. Bloques constructivos oriente y poniente	150
6.2.2. Modelo de concreto simple	152
6.2.3. Modelo de concreto con vegetación	152
6.2.4. Modelo de lámina simple	153
6.2.5. Modelo de lámina con vegetación	154
6.3. Materiales del Sistema Aligerado de Naturación	154
6.4. Ocupación y uso del edificio	156
6.5. Desarrollo de las simulaciones	157
6.5.1. Simulación 1. Concreto Simple	158
6.5.2. Simulación 2. Concreto Naturado	163
6.5.3. Simulación 3. Lámina Simple	169
6.5.4. Simulación 4. Lámina Naturada	174
6.6. Desempeño térmico comparado	180
6.6.1. Concreto Simple Vs Concreto Naturado	180
6.6.2. Lámina Simple Vs Lámina Naturada	184
6.6.3. Comparativo de todos los modelos	187
6.7. Impactos energéticos de los modelos evaluados	189
6.7.1. Demanda energética de los modelos de Concreto . Simple Vs Naturado	191
6.7.1.1. Electricidad para enfriamiento	191
6.7.1.2. Gas para calentamiento	193
6.7.1.3. Emisión de CO ₂ de los modelos de Concreto. Simple Vs Naturado	97
6.7.2. Demanda energética de los modelos de Lámina. Simple Vs Naturada	99
6.7.2.1. Electricidad para enfriamiento	99
6.7.2.2. Gas para calentamiento	201
6.7.2.3. Emisión de CO ₂ de los modelos de Lámina. Simple Vs Naturada	204
6.8. Método estático de evaluación del Sistema	208
6.9. Conclusiones	209

CAPÍTULO 7. APLICACIONES AL PROYECTO ARQUITECTÓNICO

7.1. Diagramas Bioclimáticos	211
7.2. RFA y Pitahaya aplicadas a un edificio	213
7.3. CO ₂ y Pitahaya aplicada en un edificio y en la Ciudad	216

7.4. Aplicaciones arquitectónicas básicas	218
7.4.1. Cubiertas	219
7.4.2. Muros	220
7.5. Campo de aplicación	221
7.6. Geometrías viables para el Sistema	221
7.7. Aplicación por capacidades de carga	222
7.7.1. Edificios mayores a 5 m. de altura	224
7.7.2. Edificios menores a 5 m. de altura	224
7.8. Costo del Sistema	224
7.9. Riego	225
7.10. Conclusiones	226

CAPÍTULO 8. CONCLUSIONES FINALES

8.1. Uso	228
8.2. Campo de aplicación	228
8.3. Medio ambiente	228
8.3.1. Áreas verdes	229
8.3.2. Agua	229
8.3.3. CO ₂	229
8.3.4. Isla de calor	230
8.4. Peso del Sistema de Naturación	230
8.5. Materiales ligeros	230
8.6. Políticas públicas y financiamiento	230
8.7. Potencial del muro vegetal	231
8.8. Diseño de un sistema de naturación apropiado	231
8.9. Aportaciones térmicas	231
8.10. Desempeño energético	233
8.11. Ahorro monetario	233
8.12. Popularización del sistema aligerado	233

PROPUESTAS	234
RECOMENDACIONES	234

REFERENCIAS	236
--------------------	-----

ANEXOS

ANEXO 1. CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA DE AZCAPOTZALCO D. F. Y DIAGRAMAS BIOCLIMÁTICOS	243
ANEXO 2. TABLAS DE CÁLCULO DE VALORES TÉRMICOS DE LOS MATERIALES	255
ANEXO 3. MEDICIÓN DE CUBOS TÉRMICOS	259
ANEXO 4. MÉTODO ESTÁTICO DE EVALUACIÓN	291
ÍNDICE DE TABLAS, FIGURAS Y GRÁFICAS	296
CURRÍCULUM DEL AUTOR	304

Introducción

La vegetación se ha incorporado a las envolventes de los edificios desde hace aproximadamente 1,200 años con el propósito de mejorar el desempeño térmico de las construcciones. Desde entonces a nuestros días los sistemas han evolucionado hasta hacerse estrategias constructivas básicas para el confort de los espacios en algunos países. Sin embargo en México ha sido lenta la aceptación de estos sistemas para ser incorporados a las edificaciones.

México es considerado uno de los doce países megadiversos del mundo por poseer una diversidad biológica extraordinaria, que representa alrededor del 10% de las plantas y animales del planeta. Existen en nuestro país por lo menos 23,702 especies de plantas conocidas, y los especialistas estiman que podrían ser 36,000 especies (CONABIO, 2010). De éstas, se estima que alrededor de 10,000 (aproximadamente el 23%) son endémicas, es decir que sólo habitan en nuestro país. Con ecosistemas que van desde los hielos perpetuos en las cumbres de las montañas, hasta las selvas tropicales, bosques de coníferas, lagunas costeras y desiertos, que albergan a un sinnúmero de especies (CONABIO, 2010).

Esta riqueza de recursos naturales y particularmente vegetales, nos pone delante de un banco de materiales extenso, que a través de su conocimiento puede aportar a las edificaciones un mejor funcionamiento energético, a la vez que incorporamos a los contextos urbanos, a través de los edificios, características orgánicas y de mejoramiento del medio ambiente, que no aportan los materiales industrializados.

El presente trabajo aporta como resultado, un sistema nuevo de naturación, que ha incorporado una cactácea de nombre común Pitahaya, que de acuerdo a las referencias de Ortiz (1999) hasta ahora se la ha considerado una “planta de traspatio”, aun cuando en países como Israel es la base de una nueva industria agronómica, por su facilidad de adaptación a diferentes climas, su bajo consumo hídrico y los altos precios internacionales de su fruto.

Esta planta, tiene hábitos que la hacen crecer bajo la tutoría de elementos construidos, naturales o artificiales, por lo que gran parte de la relación de la planta con un elemento arquitectónico ya estaba marcada. Asimismo la característica de tener raíces autoadherentes y ser trepadora, abrió la posibilidad, de incorporarla a los edificios para conseguir un sistema de cobertura vegetal que pueda prescindir del sustrato sobre los elementos arquitectónicos, que de acuerdo a la información preliminar con que se contaba, era uno de los principales problemas de los sistemas hoy usados, al generar peso y humedades al edificio.

La arquitectura bioclimática es una de las disciplinas que se encuentran con otras en la búsqueda de la sostenibilidad en los edificios, las ciudades y de la existencia del mismo ser humano (Yeang, 2001). Además de buscar las condiciones de confort humano, la bioclimática busca analizar la mayor cantidad de beneficios que la arquitectura pueda proveer simultáneamente a los usuarios, tomando la mayor cantidad de beneficios naturales que pueda proveer el sitio como sol, lluvia, viento y evitando impactar negativamente el medio ambiente donde se proyecta. Este es el enfoque de la investigación guarda en cada una de sus etapas en las que se dio un acercamiento progresivo al conocimiento de las

variables a las que debe responder un sistema de naturación adecuado a la Ciudad de México.

En los Capítulos 1 y 2 se hace un reconocimiento de los antecedentes Históricos y contemporáneos de las envolventes verdes, donde se reconoce cómo han llegado hasta nuestros días, cómo son actualmente, dónde y cómo se usan. Se hizo un reconocimiento de los sistemas constructivos para establecer qué condiciones se requiere que tengan los edificios, para ser naturados y saber en qué medida ésta limita que se nature más en nuestra ciudad. Se establece también el nivel de conocimiento que tienen los mismos vendedores y promotores de los sistemas de naturación acerca de los impactos positivos térmicos y ambientales que aportan, a través de sus propios catálogos, páginas de internet, y en conversaciones personales o artículos, para saber en qué términos se están usando o subutilizando las cubiertas y muros verdes, y qué tanto pueden informar a la vez a sus clientes, para con esto incentivar que sean más usados no sólo como un elemento estético, sino también por los servicios que proveen.

El Capítulo 3. Antecedentes Ambientales, sienta dos de los fundamentos de este trabajo: En primer lugar, se hizo un reconocimiento de las condiciones que tuvo nuestra ciudad originalmente, contrastándolas con las que tiene actualmente, para llamar la atención acerca del deterioro ambiental que hemos causado, y ante el cual debemos actuar urgentemente a favor del medio ambiente con diversas estrategias, una de las cuales es la naturación urbana, que además puede aportar beneficios al confort humano y promueve ahorros monetarios; En segundo lugar, igual en importancia: se reconocen las características ambientales naturales y urbanas y las crisis que enfrenta hoy la ciudad, para tomarlas en cuenta en el desarrollo de un sistema de naturación adecuado a estas condiciones del sitio.

En el capítulo 4 se hace un reconocimiento detallado de las características agronómicas y térmicas (en tanto material) de planta seleccionada, para evaluar su compatibilidad para ser integrada a un sistema de naturación y con esta información se prediseña y evalúa un arreglo constructivo al que se integran materiales. Se obtienen aquí datos y procedimientos de los que se tenía antecedente para conocer las propiedades térmicas de la pitahaya, que serán usados en las siguientes fases de la investigación para simular en modelos virtuales las aportaciones térmicas y energéticas de la aplicación de la planta.

Ya con los valores térmicos y físicos obtenidos de la planta y las demás membranas del sistema, en el Capítulo 5 se hicieron mediciones de modelos reales bajo condiciones de intemperie, para contrastarlos con modelo idénticos contruidos en Design Builder (DSB, 2009), hasta conseguir que el modelo virtual se comporte como el real, para tener así un arreglo constructivo confiable, que será el que al aplicarse a una casa “Tipo” arrojará los resultados del comportamiento del sistema, lo que se hizo en el Capítulo 6. De las simulaciones de la casa se obtienen los comportamientos detallados de dos modelos de casa, una con techo de concreto y otra con cubierta de lámina a las que se aplica la envolvente verde para evaluar su comportamiento térmico y energético. Al término de las mediciones se compara concreto contra concreto naturado, y lámina contra lámina naturada, de donde se obtienen los beneficios comparativos que provee el sistema de naturación.

De éstos resultados se desprende análisis energéticos de ahorros de electricidad y gas, estimaciones de niveles de CO₂ y Gases de efecto invernadero que se asimilan por la planta o se dejan de emitir por ahorros energéticos. Y finalmente, todas las condiciones estudiadas y medidas se concretan en lineamientos de aplicación arquitectónica y bioclimática del sistema obtenido.

Previo a este trabajo, pese a estar involucrado en temas de sostenibilidad y siendo participantes de la maestría en Arquitectura Bioclimática en la UAM, se constató que es poca la información y bibliografía de cubiertas verdes generada en nuestro país. La información más recurrente es de instaladores y promotores inmobiliarios que conocen el gran impacto de manifestarse a favor del medio ambiente, en una dinámica de mercado basada en la forma. Por otro lado, la mayor parte de los proveedores especializados en estos sistemas manejan el tema desde la disciplina paisajística, de la ingeniería agronómica, la biología o la jardinería y es necesario tomar en cuenta el punto de vista bioclimático al incorporar una envolvente verde a un edificio.

Es importante tomar en cuenta que el desempeño térmico de las edificaciones en gran medida depende de sus envolventes, como lo resalta el texto de la NOM-008-ENER-2001:

“En México, el mayor consumo de energía en las edificaciones es por concepto de acondicionamiento de aire, durante las épocas de mayor calor, principalmente en las zonas norte y costera del país. La ganancia por radiación solar es la fuente más importante a controlar, lo cual se logra con un diseño adecuado de la envolvente.”

En habla inglesa existen manuales de fácil acceso que tratan el proceso técnico de las cubiertas verdes, incluyendo un análisis de su comportamiento físico y los efectos sobre las edificaciones. Como el manual de bricolaje para techos verdes publicado por *The Green Roof*, El manual de lineamientos *Design guidelines for green roofs*, o el *Reporte Conclusivo de Beneficios Ambientales y Costos de las Tecnologías de Techos Verdes* realizado por la Universidad Ryerson de Toronto, Ontario, Canadá. Son reportes generados en otros países, con sus propias condiciones, por lo que son indicativos valiosos, pero no transferibles de manera directa a nuestras condiciones.

La mayor parte de las tecnologías disponibles para nosotros son importadas. Existen en el ámbito comercial empresas que instalan azoteas y muros verdes en nuestro país, gracias a un sector demandante que alimenta esta sinergia positiva. Lo que está por revisarse es la eficiencia de las tecnologías que se utilizan en un sitio distinto a donde fueron generadas y evaluadas. Nos falta trabajar en la transferencia tecnológica o mejor aún, en el desarrollo de tecnologías propias que integren mayor cantidad de nuestras condicionantes técnicas, biológicas, ambientales, socioculturales y económicas.

Este trabajo busca apotar un sistema de naturación de envolventes basado en el reconocimiento del medio ambiente y edificado de la ciudad de México y sus requerimientos, el potencial de la propia vegetación nativa, las condiciones y limitantes de las edificaciones en el D. F. Para mejorar el desempeño térmico de las edificaciones y ambiental en la ciudad. Consideramos que de esta manera se puede conseguir un aprovechamiento integral de estos sistemas y ser más accesibles a un sector amplio de la población.

Estrucrura metodológica

Antecedentes del protocolo de investigación

La naturación de azoteas y muros en los contextos urbanos, es utilizada desde hace varias décadas en otros países para conseguir: 1) la recuperación de áreas verdes una vez que la superficie de la ciudad ha sido ocupada por construcciones; 2) que la vegetación implantada en estos espacios aporte un mejoramiento de la calidad del aire; 3) mejorar el comportamiento térmico de las edificaciones y por esto son sistemas incorporados como una estrategia eficiente. Sin embargo en la ciudad de México no se percibe un uso tan difundido y no se sabe con certeza en términos cuantificables el impacto de sus beneficios.

Planteamiento del problema

Las envolventes verdes son sistemas pasivos de control térmico y regeneración ambiental que tienen un uso incipiente en nuestra ciudad, y por esto, el confort térmico en los edificios, la reducción en gastos por consumo energético, el incremento de las áreas verdes en el Distrito Federal, el mejoramiento de la calidad del espacio urbano, y la regeneración ecológica que pueden aportar, no se están aprovechando. Los espacios que no tienen un buen comportamiento térmico e higrométrico pasivo o mecánico son considerados “Edificios Enfermos” y provocan malestar a sus ocupantes¹. Cuando se provee el confort térmico mediante sistemas mecánicos de enfriamiento o calentamiento, se provocan altos consumos energéticos desfavorables al medio ambiente y a la economía del usuario. Además de ahondar el problema del Calentamiento Global. Se percibe un vacío de información (por comprobarse) acerca de los impactos energéticos y ambientales positivos que pueden proveer estos sistemas y en particular la vegetación, comparados con los sistemas de climatización mecánica; por esto el usuario no tiene presentes en cifras los ahorros, y beneficios que le pueden atraer los sistemas, y la motivación del techo o muro verde por placer estético no es suficiente para invertir en naturación.

Hipótesis principal

La utilización de envolventes verdes en la Ciudad de México es incipiente, y puede aumentarse potencialmente en todos los sectores edificados (habitacional, industrial, comercial) si: 1). Mediante el estudio y reconocimiento de las características ambientales y constructivas de la Ciudad de México se desarrolla un sistema de envoltente verde apropiado, y no sólo adaptado de modelos importados; 2). Si se aportan valores cuantificables de los impactos energéticos y ambientales positivos que pueden proveer estos sistemas y en particular la vegetación, comparados con los sistemas de climatización mecánica; y con este balance de ahorros y beneficios cunatificados se llama la atención de asuario acerca de la conveniencia de naturar.

¹ La OMS considera que un edificio está enfermo si al menos el 20 por ciento de sus ocupantes sufre molestias derivadas de la mala calidad del ambiente y los afectados muestran síntomas como estrés, depresión, eritemas (enrojecimiento o manchas de la piel), jaquecas, problemas respiratorios, inflamación de la garganta o irritación ocular, provocados por diversos factores relacionados con el estado y las condiciones de la oficina o construcción en el que desarrollan parte de su actividad.

Objetivo general

Analizar las condiciones Constructivas, Ambientales, Económicas y Políticas bajo las cuales se está dando el poco uso de los sistemas de naturación en azoteas y muros con que se cuenta en la actualidad; con base a su reconocimiento, establecer las características que debe tener un sistema que aporte un mejor comportamiento térmico de los edificios para desarrollar con estos lineamientos un Sistema de Naturación Apropriado que pueda ser aplicable en esta Ciudad a un sector amplio del parque edificado y en todos los sectores, y con el conocimiento y verificación de sus impactos térmico, energético y ambiental.

Hipótesis secundaria H1 / Línea Constructiva

La utilización de envoltentes verdes en la Ciudad de México es limitada, debido a que los sistemas de naturación existentes requieren que los edificios tengan características constructivas que no cubren.

Objetivo particular 1

Establecer cuáles edificios reciben los sistemas actuales de naturación. Cuáles no, y por qué.

Hipótesis secundaria H2 / Línea Ambiental

Se promueve poco el uso de los sistemas de naturación porque al no estar diseñados para nuestras condiciones ambientales se desconoce su comportamiento, y no se tienen valores cuantificables de los beneficios que pueden aportar al medio ambiente al que se incorporan, tanto los directos al ser sistemas orgánicos, como los indirectos al reducir las demandas energéticas de las edificaciones.

Objetivo particular 2

Establecer cuáles son las condiciones actuales de nuestro medio ambiente, y qué nivel de conocimiento hay acerca de los beneficios ambientales y energéticos en el mercado actual de la oferta - demanda de sistemas de naturación, así como en las políticas públicas. Igualmente cuantificar las aportaciones que puede tener un sistema de naturación a la mejora del medio ambiente al que se incorpora, de manera directa en tanto vegetación, e indirecta por medio de la reducción en el consumo de energía para calefacción o enfriamiento.

Hipótesis secundaria H3 / Línea Experimental y Diseño

Mediante el diseño de un sistema de naturación adecuado a las condiciones de la Ciudad de México de muros y techos, adaptable a las diferentes condiciones constructivas de los edificios de la Ciudad, basado en vegetación apropiada a nuestra localidad, se podrá mejorar el desempeño térmico de la envoltente de un edificio, aún los térmicamente vulnerables, a la vez que se aportarán mejoras al medio ambiente de los espacios urbanos del Distrito Federal, obteniendo valores cuantificables de su comportamiento térmico y energético, para utilizarse como herramienta de diseño aplicable cualquier caso de diseño futuro.

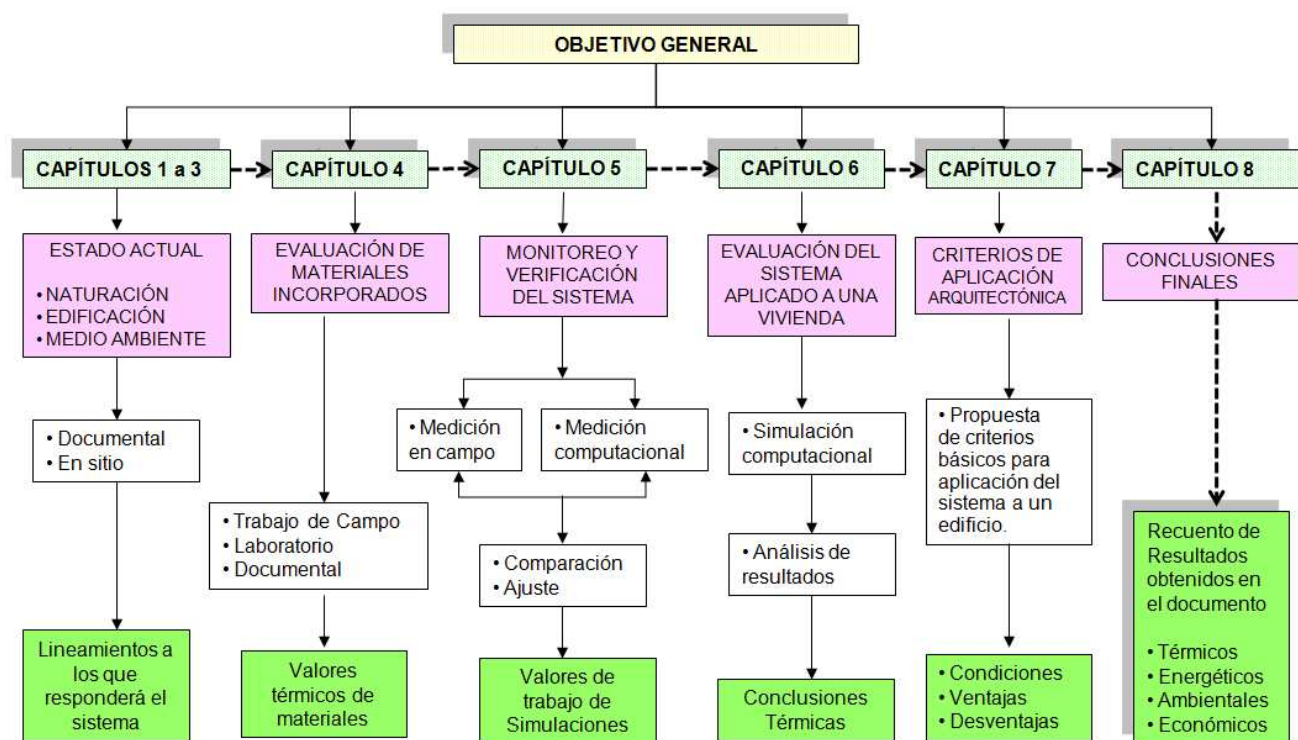
Objetivo particular 3

Con base en las características del medio edificado y ambiental de la Ciudad de México, evaluar la compatibilidad de un tipo de vegetación de raíz autoadherente que permita reducir el peso de un sistema de naturación para diseñar un Sistema de Naturación Aligerado que aporte mejoramiento en el desempeño térmico de la envolvente de un edificio, del cual se puedan obtener valores térmicos, energéticos y ambientales cuantificables, para ser usados como herramienta de diseño en proyectos posteriores y así dar elementos para promover su uso.

Estructura Metodológica

La presente investigación se conformó en su estructura general de acuerdo al método de investigación de Sánchez (2004). El método particular de acercamiento a cada una de las partes investigadas se fue definiendo para cada tema particular con la dirección del Dr. Aníbal Figueroa² y las asesorías en cada tema de los doctores: Alfonso Valiente Banuet³, Manuel Gordon Sánchez⁴ y Violeta Mugica Álvarez⁵.

Estructura Metodológica en el desarrollo de la investigación



² Profesor investigador en Arquitectura Bioclimática de la Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco

³ Investigador Titular C de tiempo completo del Instituto de Ecología de la Universidad Nacional Autónoma de México.

⁴ Profesor investigador en Energía Solar de la Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco

⁵ Profesora investigadora en Química de Materiales y Calidad del Aire de la Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco

CAPÍTULO

1

ANTECEDENTES HISTÓRICOS Y ACTUALES

LOS SISTEMAS DE ENVOLVENTES VERDES

ÍNDICE DEL CAPÍTULO 1

- 1.1. Del techo vikingo al green roof
 - 1.1.1 Breve historia de los sistemas existentes
 - 1.1.2. Antecedentes en México
 - 1.1.3. Sistemas técnico-constructivos
 - 1.1.3.1. Techos verdes
 - 1.1.3.2. Muros verdes
- 1.2. Extensión de uso
- 1.3. Datos energéticos
- 1.4. Aportaciones térmicas
- 1.5. Energía
- 1.6. Economía
 - 1.6.1. Beneficios fiscales y contables
- 1.7. ¿Quién los construye?
 - 1.7.1. Empresas proveedoras
 - 1.7.2. Institutos e investigadores
 - 1.7.3. Autoconstrucción
- 1.8. Políticas públicas
 - 1.8.1. Programas implementados
 - 1.8.2. Normatividad
 - 1.8.3. Apoyos, financiamientos y accesibilidad
- 1.9. Conclusiones al Capítulo 1

1.1. *Del techo vikingo al green roof*

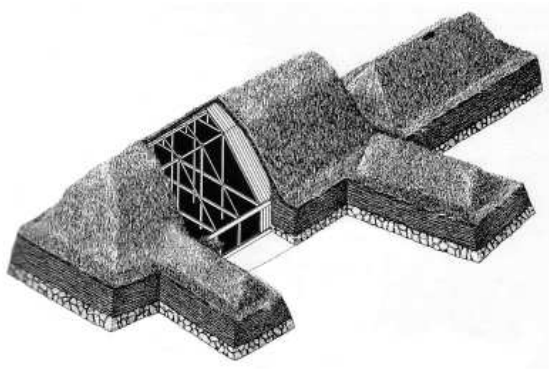


Stöng, granja vikinga.
Valle Þjórsárdalur, condado de Árnessýsla, Islandia.
Fotografía de <http://vanessavalkyria.spaces.live.com>

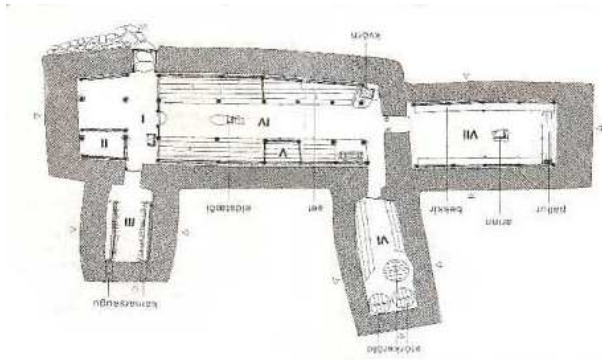
1.1.1. **Breve historia de los sistemas existentes.** En el mundo y México

Las primeras referencias que se tienen datan del s. VI, antes de cero (a.c.) en los jardines colgantes de Babilonia, de los que se refieren relatos e información difícil de constatar. Ya en nuestra era, paralelo al desarrollo del pueblo vikingo -entre los años 789 a 1100 después de cero (d.c.), se presentan los antecedentes directos de las envolventes naturadas con la finalidad de mejorar el comportamiento térmico de los espacios habitables (Figura 1.1). Igualmente se tienen registros de su uso histórico en Islandia, bajo condiciones de clima frío y Tanzania en clima cálido (Figura 1.2), y más recientemente en Europa y Norteamérica (Minke, 2005).

Se tiene registro del uso de las azoteas naturadas desde hace unos cien años en Estados Unidos y Canadá, donde el sistema constructivo empleado probablemente proceda de Europa del Norte. Los muros de entre 60 y 90 cm. de ancho eran de terrones de pasto de 10 cm. de espesor que se colocaban trabados en una pared de piedras, con la capa de césped hacia abajo. La construcción del techo consistía en tirantería, estructura de ramas, pasto de pradera y 2 capas de terrones de pasto (Minke, 2005) (Figura 1.3). El empleo de estos sistemas siguió su curso, hasta que en los años 60 del siglo XX, comenzó en Alemania el desarrollo moderno de los sistemas usados en la actualidad. Tal vez el avance más grande que se ha dado desde los 60 hasta este momento, es la sustitución de los drenajes de grava por los nuevos sistemas de drenaje con membranas plásticas, que han aportado una reducción en el peso de unos 120 Kg/m², haciendo que puedan ser recibidos por un género más amplio de edificios a menor costo (GPM, 2010).



A



B

Figura 1.1. Edificación vikinga con techumbre naturada. Thjodve ldisbaer, Islandia. A. Volumetría. B. Planta
Fuente: (Boyer, 2005).



A



B

Figura 1.2. A. Casa tradicionales de “panes de césped” en Islandia. B. Casa Hehe, Tanzania.
Fuente: (Minke, 2005).

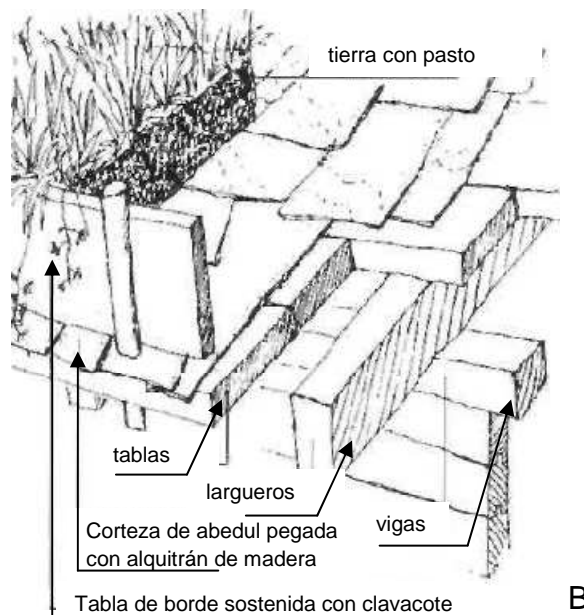
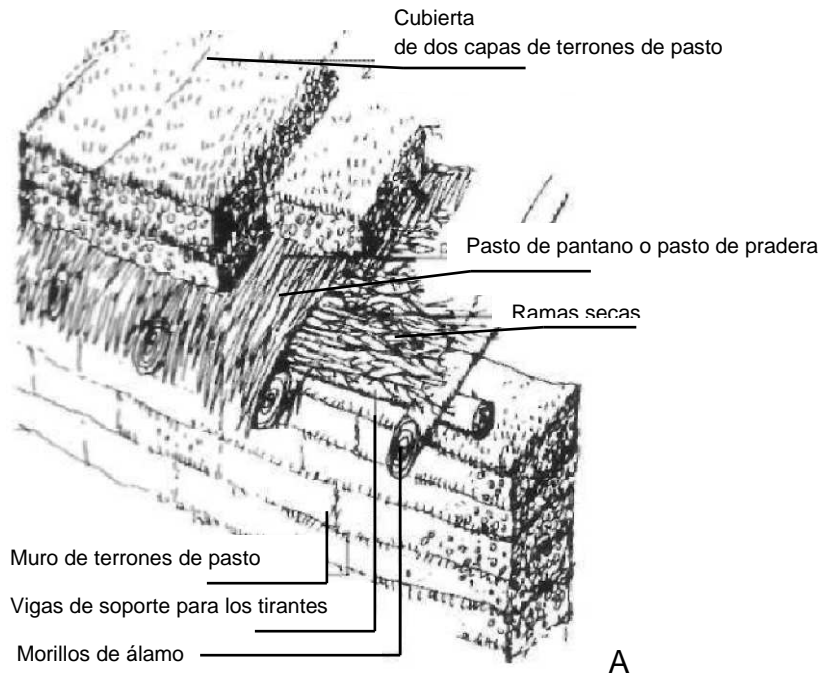


Figura 1.3. A. Sistema utilizado en Estados Unidos y Canadá. B. Construcción de los techos escandinavos tradicionales de pasto.
Fuente: (Minke, 2005).

El tradicional techo de pasto de Escandinavia tiene una inclinación de entre 30° y 45° y consta de una capa gruesa de unos 20 cm. de tocones de pasto, colocados sobre varias

capas de corteza de abedul. Ésta, por su alto contenido de tanino, es relativamente resistente a la descomposición y tradicionalmente era sellada con alquitrán para lograr un estrato resistente a las raíces y la humedad. Como el alquitrán de madera está clasificado como cancerígeno, esta solución para nosotros ya no es recomendable. La vida útil de éste tipo de techo es de aproximadamente 20 años (Minke, 2005).

1.1.2. Antecedentes en México

La tradición de los jardines urbanos se remonta a la era precolombina, y tenemos referencia de ellos a través de algunas fuentes históricas principalmente de la etapa posthispánica. Igualmente los estudios arqueológicos han arrojado datos y testimonios de la inclusión de la vegetación en el proyecto de ciudad; algunas veces por el deleite y otras como verdaderos laboratorios de apoyo al conocimiento, reproducción, aclimatación, y manejo botánico de diferentes especies vegetales para el uso humano. Al Jardín en general se le llamó *xochitla* (lugar de flores); un jardín amurallado se llamaba *xochitepanyo*; Los jardines de placer para los gobernantes eran llamados *xochiteipancalli* (palacio de las flores); Y el humilde jardín del masehual era nombrado *xochichinancalli* (sitio de flores rodeado por una barda de cañas o de ramas) (Velasco, 2002).

En la región hoy ocupada por la Ciudad de México el caso paradigmático de los jardines intercalados con la estructura urbana son las chinampas, que eran sobre todo unidades productoras que contribuían al abastecimiento alimentario de la populosa ciudad.

Un jardín referente es el de Iztapalapa (Figura 1.4), registrado en el mapa Uppsala, y de manera vívida en el libro XI del Códice Florentino. Asimismo el jardín de Chapultepec para el uso y estudio de Moctezuma Ilhuicamina, y el de Tetzcotzico de Nezahualacóyotl en Texcoco son de gran relevancia.

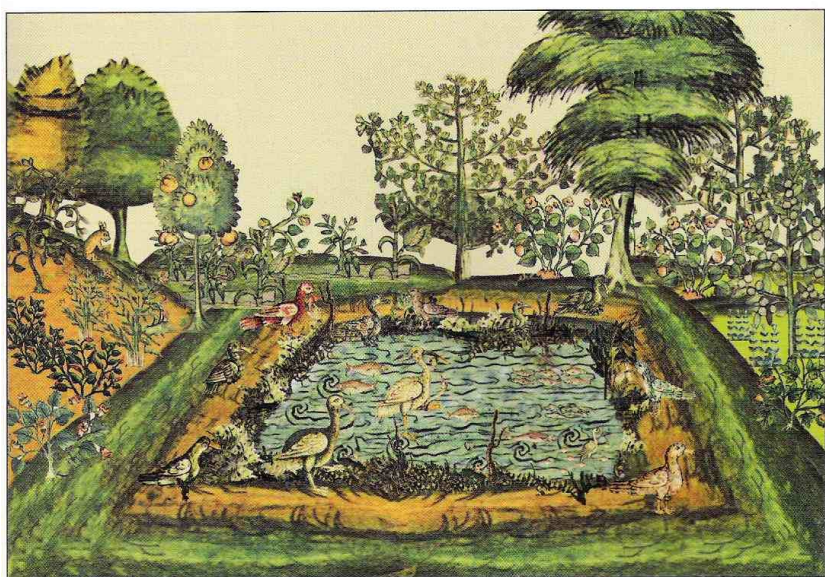


Figura 1.4. Jardín de Iztapalapa en el Códice florentino libro XI,

Fuente: (Velasco, 2002).

Acerca del uso intencionado de vegetación incorporada a los muros o las azoteas de edificaciones, en este momento no se cuenta con información al respecto. Sin embargo, existe gran variedad de especies nativas de México que de manera natural trepan y cubren superficies en muros y azoteas que se conocían: gran cantidad de trepadoras, rastreras y epífitas, de diversos climas y características botánicas que nos hace pensar que pudieron estar incorporadas en algunas estructuras edificadas, aún de manera no intencional. La única fuente de la que se tiene una referencia más o menos directa es la obra ***Relación de las cosas de Yucatán***, escrita por Fray Diego de Landa en 1560, donde describe una planta epífita, sus hábitos de crecimiento sobre otras estructuras o tutores y el gusto y aprovechamiento que hacía la población de ella. De acuerdo con Ortiz (1999) corresponde posiblemente a un individuo del género *Hylocereus*, que a la vez nosotros inferimos que por sus hábitos y requerimientos de crecimiento como epífita pudo haber estado incorporada a tecorrales y estructuras antrópicas.

Las principales fuentes de información acerca de las plantas conocidas y usadas en el México precolombino provienen del código de la Cruz Badiano ó ***Libellus de medicinalibus indorum herbis*** (*Libro de las hierbas medicinales de los indios*)⁶; el libro XI del ***Código Florentino***; la ***Historia Natural de Nueva España*** escrita por Francisco Hernández entre 1571 y 1577; la ***Historia general de las cosas de la Nueva España*** de Bernardino de Sahún, terminada hacia 1569; más tardíamente en el apartado de *Plantas mexicanas* de la obra ***Historia antigua de México y de su conquista*** escrita por Francisco Javier Clavijero hacia 1780; y la obra de Fray Juan de Navarro ***Historia Natural ó Jardín Mexicano*** de 1801.

1.1.3. Sistemas técnico – constructivos

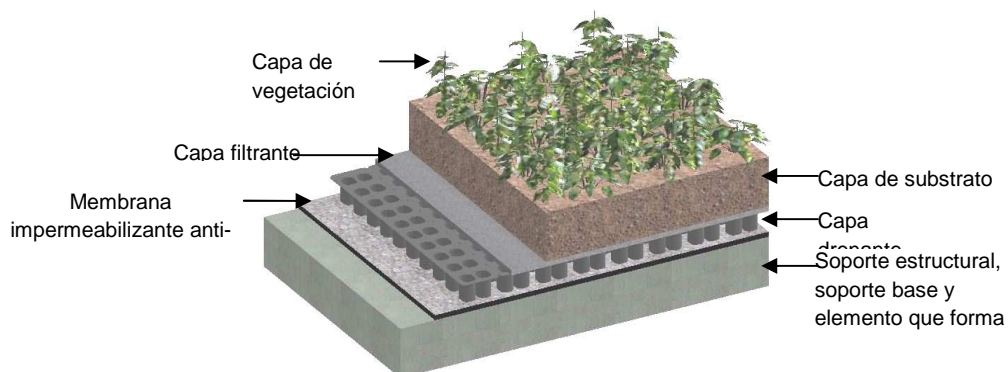
1.1.3.1. Techos verdes

Los techos verdes hoy utilizados se dividen en dos grupos de acuerdo a su densidad de sustrato y el tamaño de las especies que pueden recibir. El primero de éstos es el sistema *Intensivo*, tiene un espesor de sustrato que supera los 40 centímetros, y puede llegar un metro y más; Permite plantas de gran talla, hasta árboles de desarrollo mediano como magnolias. El otro sistema es el *extensivo*, cuyo sustrato puede ser de 5 y hasta 15 cm. Ambos sistemas se conforman por una capa de vegetación, tierra o sustrato, capa de filtro geotextil, dren de poliestireno, impermeabilizante bituminoso, y la losa base (Tabla 1.1).

⁶ Escrito originalmente en náhuatl por el xochimilca Martín de la Cruz, alumno del Colegio de la Santa Cruz de Tlatelolco hacia 1552. El original en náhuatl ha desaparecido. Posteriormente fue traducido al latín por Juan Badiano, también xochimilca y estudiante del Colegio de la Santa Cruz.

Tabla 1.1. Parámetros de cada tipo de naturación y sus componentes básicos

Tipo de naturación	Extensivo	Semi-intensivo	Intensivo
Altura de crecimiento de plantas	5 -50 cm	5 - 100 cm	5 -400 cm
Diámetro de copa	No aplica	No aplica	300 cm máximo
Sustrato	10 - 15 cm	15 -30 cm	> 40 cm
Cobertura vegetal	Crasuláceas	Crasuláceas, pastos y arbustos	Crasuláceas, pastos, arbustos y árboles



Fuente: (NADF-013-RNAT-2007, 2006).

Se encuentran en el mercado, distintas propuestas constructivas, que se presentan a continuación.

1.1.3.1.1. Green Roof Panels

Es un sistema extensivo que integra en un panel, el conjunto de drenes, sustrato y cama vegetal, transportándose prefabricados y colocándose en el sitio a una gran velocidad, con el proceso regulado desde la planta de armado. El propietario de esta patente es Green Living Technologies (GLT, 2010) (Figuras 1. 5 y 1. 6).



Figura 1. 5. Arreglo constructivo GRF



Figura 1. 6. Colocación de prefabricados GRF.

Fuente: (GLT, 2010).

1.1.3.1.2. Sistema de charolas prefabricadas

Como se aprecia en la imagen la vegetación se arma en macetas – charolas (Figura 1. 7), que algunos proveedores manejan de aluminio o material plástico, se tienen ya armadas y se incorporan a la azotea después de la membrana impermeabilizante (GLT, 2010) (Figura 1. 8).



Figura 1. 7. Charola prefabricada



Figura 1. 8. Instalación en serie de paneles

Fuente: (GLT, 2010).

1.1.3.2. Muros verdes

El principio técnico constructivo básico que siguen los muros naturados usados en la actualidad, es la generación de una doble fachada en base a paneles reticulados, regularmente de plástico, que generan receptáculos de tierra en forma de celdas plásticas, donde en cada una de ellas se deposita el sustrato donde se arraigan las plantas. El riego de las plantas en este sistema se lleva a cabo mediante el escurrimiento desde la parte más alta, hasta llegar a la base, donde se dispone de un canalón que colecta el excedente de agua para conducirlo a un drenaje (Figura 1. 9).



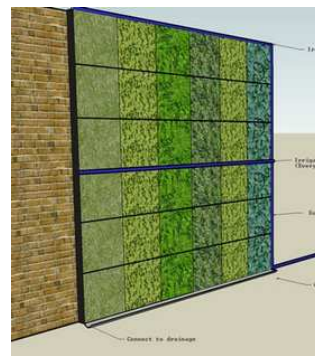
Figura 1. 9. Paneles plásticos de celdas. Muro verde del 1^{er} callejón de 5 de mayo, D. F.
Fuente: (Toma en sitio, marzo, 2010)

1.1.3.2.1. Elevated Landscape Technologies

ELT es un sistema modular fabricado de HDPE 100% reciclado de paneles de de 20"x20"x2.5" que contienen celdas que sostienen el sustrato y las plantas (ELT, 2010). (Figura 1. 10).



A



B

Figura 1.10. A. panel base y B. Colocación sobre un muro base.
Fuente: (ELT, 2010).

1.1.3.2.2. GLT o Green Live Technologies

Este es un sistema en base a paneles prefabricados de aluminio con una medida básica de 61 x 61 cm, y espesores disponibles de 3", 4" y 6". Estos son algunos arreglos prefabricados que ofrece el fabricante (GLT, 2010) (Figura 1. 11. A, B y C).

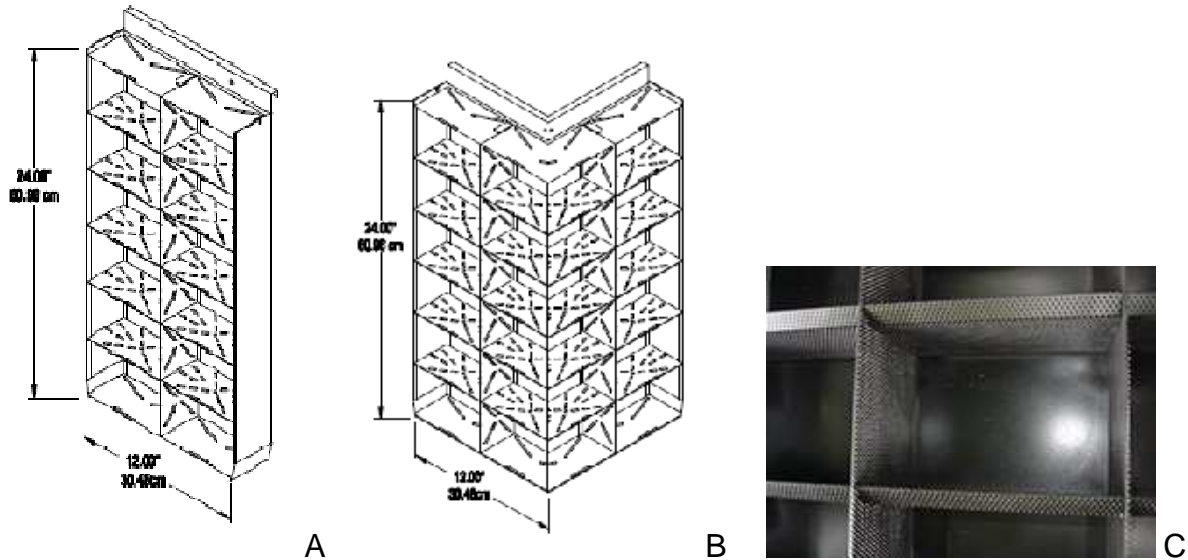


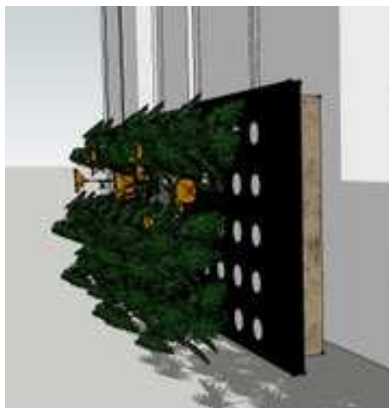
Figura 1. 11, A. Sistema GLT en muro recto. B. Esquina. C. Panel de aluminio
Fuente: (GLT, 2010).

1.1.3.2.3. G - Sky Modular

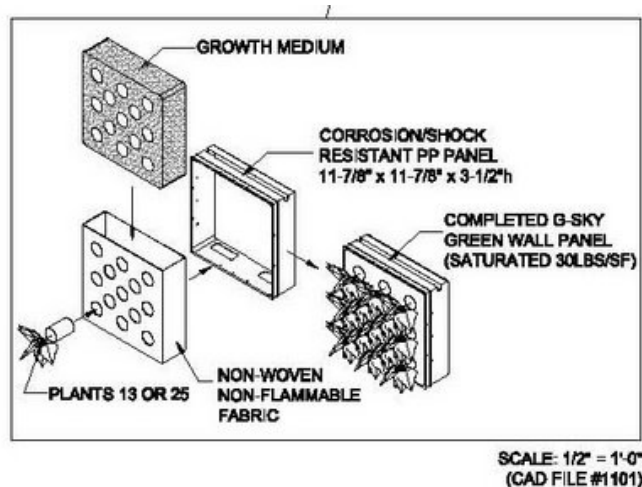
EIFS SYSTEM (Exterior Insulate Finish System)

Otro sistema modular, es un panel de 12×12" de polipropileno montado sobre soportes de acero. Viene preplantado con el sustrato apropiado, filtro de malla y 13 plantas por panel. Se puede cubrir una superficie creando un patrón con paneles de distintas especies al gusto (GPSI, 2010) (Figura 1. 12. A, B y C).

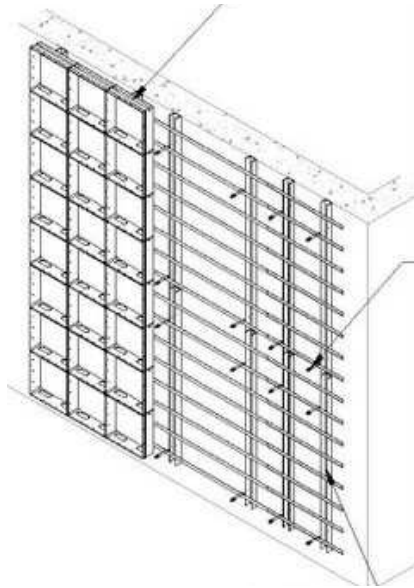
Figura 1. 12. Sistema Gsky. A. Vista Final de muro. B. Elementos del sistema. C. Muro Cortina con Lenzos metálicos como soporte.
Fuente: (GPSI, 2010).



A



B



C

1.1.3.2.4. **Green Fortune**

Este sistema es muy demandado y logra vegetación de gran volumen y riqueza. Se basa en repisas adosadas a un muro, sobre las que se colocan depósitos del sustrato, donde se albergan las plantas (GF, 2010) (Figura 1. 13).



A



B

Figura 1. 13. Sistema Green Fortune. A. Repisa base. B. Aspecto final.
Fuente: (GF, 2010).

1.1.3.2.5. **Living Wall Gardens**

Sistema basado en los huertos verticales, con contenedores de malla plástica que contienen sustrato al cual va incrustada la planta (Urbanarbolismo, 2010) (Figura 1. 14. A y B).



A



**Column Garden
Deluxe**
12.5" x 27" High
Model# 66
\$69.95

B

Figura 1. 14. Jardín columnar. A. Aplicación en exterior. B. Contenedor base del sistema.
Fuente: (Urbanarbolismo, 2010).

1.1.3.2.6. Sistema Tresma Verde

Es un sistema de contención de taludes llamado Tresma Verde. Está constituido por un enrejado metálico con mallas hexagonales de Triple Torsión de tipo 8x10 galvanizado y revestido con P.V.C. gris. El Tresma Verde tipo "Tierra" está formado por una manta orgánica de fibra de coco reforzada con malla plástica mientras que Tresma Verde tipo "Agua" está formado por una geomalla en polipropileno (Infojardín, 2010) (Figura 1. 15. A y B).



A



B

Figura 1. 15. Sistema Tresma. A. Establecimiento del musgo. B. Aspecto final.
Fuente: (Infojardín, 2010).

1.1.3.2.7. Concreto vegetal

Son tableros de concreto prefabricado con cavidades que permiten el alojamiento de sustrato y plantas (Urbanarbolismo, 2010) (Figura 1. 16 a 1.19).



Figura 1. 16. Concreto vegetal.
Fuente: (Urbanarbolismo, 2010).

1.1.3.2.8. Otros sistemas para trepadoras

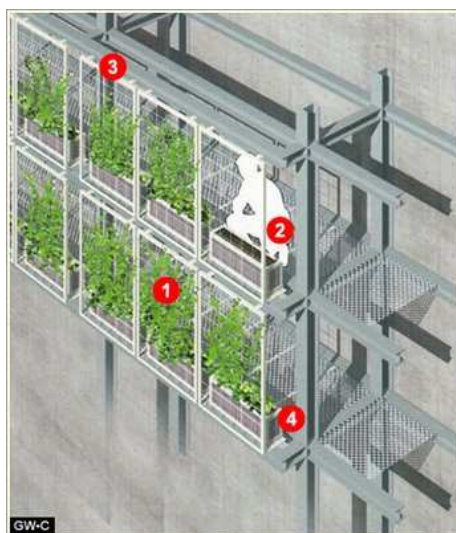


Figura 1. 17. Muro vegetal en Doble Fachada tipo Balcón
Fuente: (Urbanarbolismo, 2010).



Figura 1. 18. Muro vegetal en base a trepadoras
Fuente: (Urbanarbolismo, 2010).



Figura 1. 19. Muro vegetal en base a trepadoras
Fuente: (Urbanarbolismo, 2010).

1.1.3.2.9. Muro vegetal de Patrick Blanc

Hacemos mayor énfasis en describir este sistema debido a que es el que más se relaciona con la búsqueda de este trabajo, explorando la ligereza (Figura 1. 20).

La patente de Patrick Blanca se basa en la técnica de cultivo vertical que permite eliminar el peso del sustrato sin estar limitado por la altura del edificio. Se ha utilizado en gran cantidad de intervenciones.

Se engrapan dos capas de fieltro de poliamida sobre unas planchas de poco extruido de 10mm de grosor (soporte estanco) y se fijan sobre una estructura metálica que asegura el aislamiento (cojín de aire) con el muro “portador”. Sobre este fieltro, de gran capilaridad y retención de agua, es donde se desarrollan las raíces de las plantas (Figura 1. 21). Éstas se instalan en todas las alturas del muro, con una densidad aproximada de veinte plantas por metro cuadrado. El riego se realiza con tubos perforados superpuestos a partir de la cima del muro vegetal. El sistema está programado por electroválvulas acopladas a un distribuidor de solución nutritiva poco concentrada (Figura 1. 22). El mantenimiento es bajo ya que las hierbas no son capaces de invadir estas superficies verticales. Se prevé una poda anual. (Infojardín, 2010).



Figura 1. 20. Principio básico del muro PB
Fuente: (Infojardín, 2010).



Figura 1. 21. Arraigo de planta
Fuente: (Infojardín, 2010).



Figura 1. 22. Sistema de riego
Fuente: (Infojardín, 2010).

1.1.3.2.10. Canastillas plásticas

Otro sistema utilizado para naturalizar muros es mediante la fijación de canastillas plásticas directamente sobre muros de material pétreo. Estas canastillas tienen igualmente celdas con capacidad de albergar el sustrato donde se arraigará la planta. Este sistema añade a la carga de peso muerto del mismo muro, la de la tierra y las plantas, además de implicar la perforación del muro base con barrenos y el pijado de los contenedores, con el tiempo y trabajo que implica (Infojardín, 2010) (Figura 1. 23).



Figura 1.23. Canastillas plásticas fijadas al muro
Fuente: (Infojardín, 2010).

1.1.3.2.11. Tubos de pvc

Se pueden encontrar gran cantidad de variantes en sistemas constructivos, materiales, y disposición de los elementos que tienen un principio más o menos similar a los básicos antes mencionados, y de acuerdo al ingenio del diseñador adquiere diferentes procedimientos y aspecto final (Cherem, 2010) (Figura 1. 24).



Figura 1. 24. Muro verde en base a tubos de pvc.
Fuente: (Cherem, 2010)

1.1.3.2.13. Muro talud

Existe otro género de muros verdes usados más para obras civiles, conocidos en el mercado como *Muros Ecológicos*. Son Muros – Talud confinados con una geomalla de pvc con una cama de sustrato y vegetación superficial. Este tipo de muro verde no se aborda con más profundidad en el presente trabajo, y solo se menciona como información complementaria (GMC,2010) (Figura 1. 25).

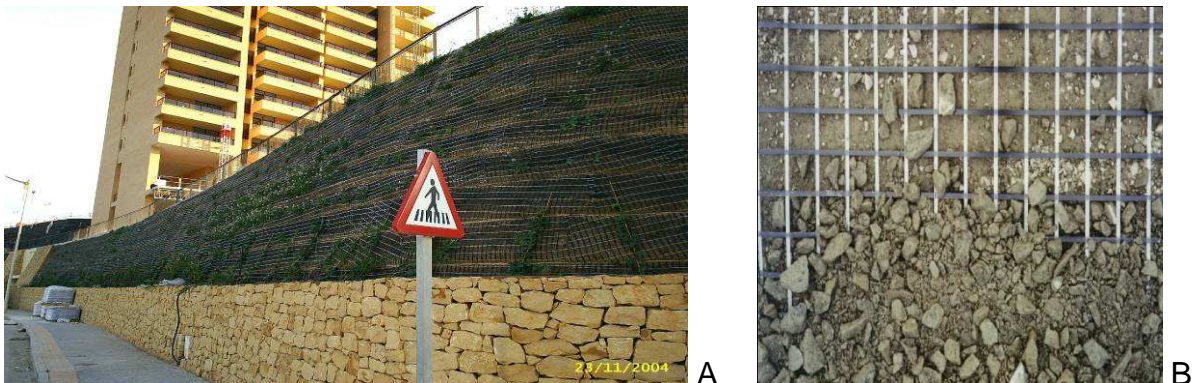


Figura 1. 25. Muro talud ecológico en Alicante, España. A. Aspecto final. B. Detalle de geomalla.
Fuente: (GMC, 2010).

1.2. Extensión de uso

Alemania, como centro de difusión de los techos verdes modernos, es el país que más los ha implementado. Cuenta en la actualidad con más de 15 millones de metros cuadrados de azoteas verdes (GASG, 2010). Aproximadamente un 10% de los techos de sus zonas urbanas está naturado (Infojardín, 2010). Como efecto inmediato regional, estos sistemas se han difundido con más profusión y método en Europa, Estados Unidos y Canadá. Destacan los casos de Suiza, Austria, Gran Bretaña, Hungría, Holanda y Suecia (Infojardín, 2010).

En Estados Unidos la Ciudad de Illinois, Chicago ocupa el primer lugar en techos naturados, y ha sido uno de los principales lugares que han innovado en la implementación de nuevos sistemas azoteas verdes, como el sistema de cubierta flotada que consiste en colocar la capa vegetal sobre bases o cajones que la separan del contacto directo con la losa (Real, 2011).

En América Latina, la Ciudad de México ocupa el primer lugar de techos naturados y el interés es más o menos reciente pero se percibe un impulso cada vez mayor hacia la popularización de estas cubiertas, pero menor comparado con países altamente tecnificados. Existen algunos casos notables de uso en Brasil, desde el establecimiento de Brasilia y Uruguay. Actualmente en México sólo existen de 10,000 a 11,000 m² de azoteas verdes, de acuerdo con Gilberto Navas Gómez⁷. En el D.F. se localiza el 90% de los techos verdes del país, seguido de Guadalajara y Monterrey. (Valdés, 2008).

1.3. Datos energéticos

Se han hecho mediciones de los beneficios que aportan sobre todo las cubiertas verdes a las edificaciones y sus usuarios. Uno de estos reportes para el caso de Canadá, marca que una azotea naturada, con respecto a una igual sin intervenir, aporta ahorros inmediatos de un 22% en consumo de energía para calefacción y enfriamiento dependiendo de la época de análisis. Ahora que, estimando los ahorros anuales una vez que el sistema de naturación se estableció, se han medido ahorros de hasta el 58% en gasto energético (Doug, 2005). Aunque no debemos perder de vista que este es un reporte hecho en Canadá, donde el clima es muy extremo, y en estas medida los ahorros igualmente se incrementan.

Para el caso de México, no encontramos publicados en este momento datos certeros del comportamiento de una edificación en relación a las envolventes verdes. Una vez que llevemos a cabo nuestras mediciones, tomaremos en cuenta las equivalencias energéticas entre consumos y calor admitido que conocemos por la por la NOM-011-ENER-2006 que especifica que cada 1 kW/h de sobrecalentamiento admitido en el interior de una edificación equivale a 3,412.14 BTU/h y se requieren 3.5168 Toneladas de refrigeración para enfriarlo. De acuerdo a la misma Norma, el porcentaje de consumo de los equipos de aire acondicionado debe tener un factor de eficiencia REEE > 3.81. De esta manera:

Para una carga térmica en Watts (CTW) admitida al interior, le corresponden $\rightarrow CTW/3.52 =$ Toneladas de refrigeración. Por lo que $1.5 TR \times 3.5168 = 5.2752/3.81 = 1.3845$ kW/h. Por

⁷ Profesor investigador de la Universidad Autónoma Chapingo.

cada 1.5 Toneladas de Refrigeración se requieren 1.3845 kW/h de consumo energético. En esta proporción se obtendrán los ahorros por concepto de enfriamiento pasivo proporcionado por la azotea naturada.

Para el cálculo de consumos de gas en calefacción se toma la misma equivalencia energética: 1kWh de demanda de calentamiento = 3412.14 BTU/h. se toma en cuenta la potencia de salida del equipo en BTU/h. A cada unidad de potencia del equipo corresponde una eficiencia en BTU/h por Kg/h de consumo de gas, según especificaciones del fabricante, de donde se calcula el consumo de gas según el equipo para calentamiento de un espacio.

1.4. Aportaciones térmicas (conocidas)

1.4.1. Mediciones en Canadá

Los ahorros energéticos están ligados a los térmicos, ya que el gasto salvado en energía, es el mismo que se hacía para calefaccionar o refrigerar los espacios con el fin de mantenerlos dentro de la zona de confort. Doug (2005) obtuvo datos térmicos a escala urbana y global para la Ciudad de Toronto, Canadá que comprueban la reducción de la isla de calor mediante la aplicación de techos verdes en un 25% de manera inmediata a su construcción, y de un 33% anual.

1.4.2. Mediciones en Alemania

Efecto refrigerante

Se presentan en adelante las evaluaciones realizadas en Alemania por Kolb y Schwartz (1999), que en las fuentes consultadas son las que definen para este caso la aportación térmica de la vegetación en una envolvente.

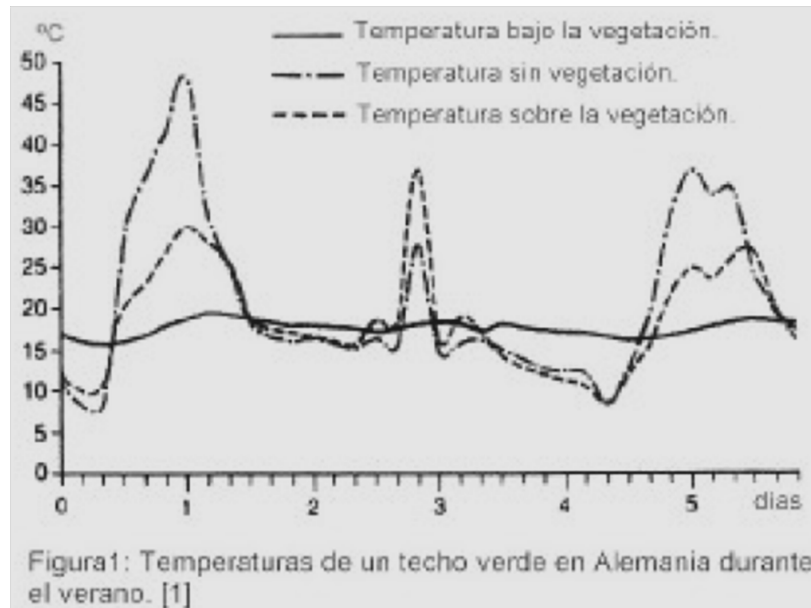
En períodos de calor extremo con temperaturas de 35°C al exterior, la temperatura registrada debajo del techo verde nunca excedió los 25°C. En las gráficas abajo presentadas, se muestra una medición de seis días de verano, realizadas a una profundidad de 10 cm. dentro del sustrato del techo verde. Se hicieron las mediciones de la temperatura exterior y debajo de la azotea verde, demostrando que la vegetación redujo la temperatura hasta 29°C.

En la gráfica 1.1, correspondiente a la medición de verano vemos que, mientras que la temperatura medida a 10 cm. de la tierra sin vegetación presentó una oscilación de 42°C en el periodo de medición, que fue entre los 7°C (mínima) y 48°C (máxima), con la misma base, más una cubierta de vegetación se tuvo un diferencial de 4k, con oscilación de los 15°C a los 19°C. En este mismo intervalo las temperaturas sobre la vegetación oscilaron entre los 10°C y los 30°C.

En la gráfica 1.2, se muestra la medición hecha de un techo verde de 16 cm. de espesor con cubierta vegetal de pasto silvestre, durante septiembre y octubre en que tiene lugar el otoño. En esta medición se obtuvo que cuando en el exterior la temperatura era de 30°C, debajo de la cubierta verde se midieron 17.5°C.

Kolb y Schwartz (1999) identifican que el efecto refrigerante de las cubiertas verdes es producido principalmente por la evaporación (evapotranspiración), la sombra y la reflexión de las plantas. Asimismo por el consumo de la energía recibida a través de la fotosíntesis y la inercia térmica del agua contenida en su tejido (Gráficas 1.1 y 1.2).

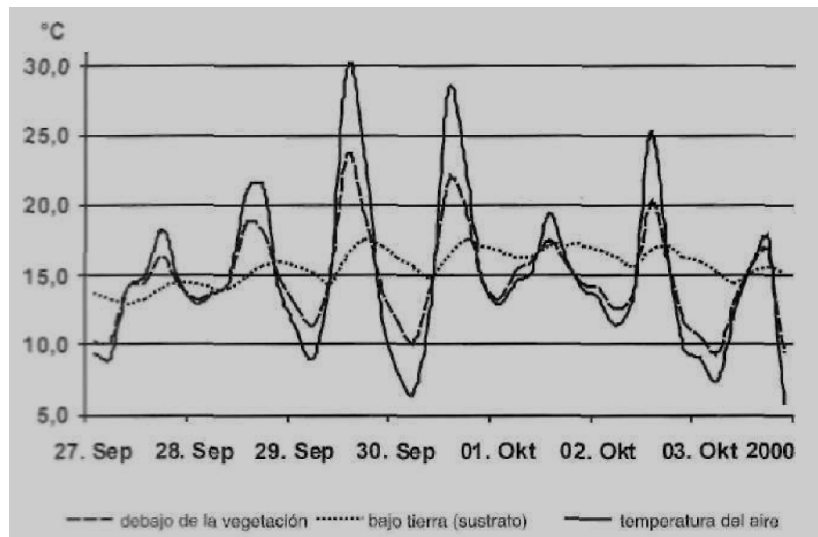
Verano



Gráfica 1.1 Temperaturas de un techo verde en Alemania durante el verano⁸
Fuente: (Kolb y Schwartz, 1999).

⁸ Las gráficas 1, 2, 3 y 4 presentadas, no tienen la calidad gráfica deseable, pero se presentan tal como se obtuvieron, para respetar la autenticidad de la fuente.

Otoño



Gráfica 1.2. Temperaturas de un techo verde en Alemania durante el otoño
Fuente: (Kolb y Schwartz 1999).

Efecto de calefacción en invierno

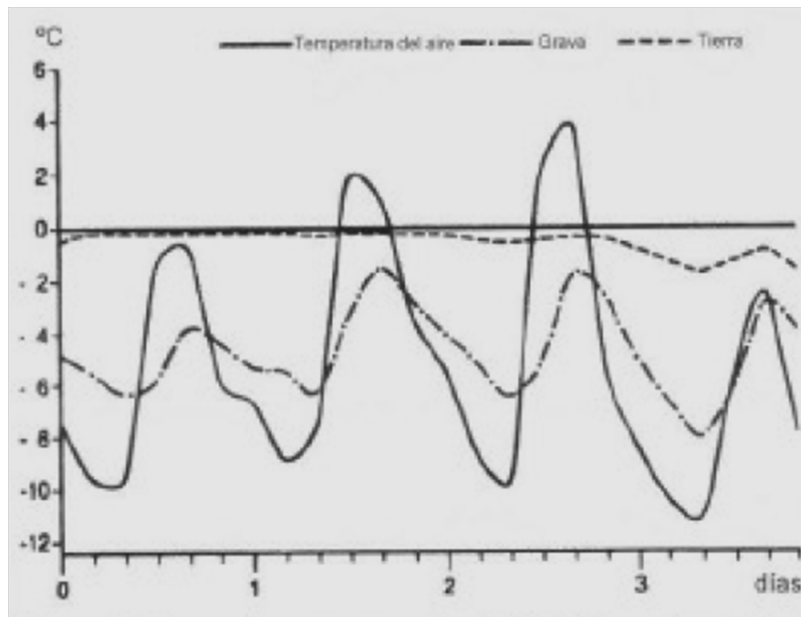
Si la vegetación es una capa densa “como una piel de oso”, aumenta el efecto de aislamiento (Minke, 2005).

Durante el invierno Kolb y Schwartz (1999), llevaron a cabo la medición comparativa del comportamiento de un techo verde y otro de grava, medidas a una profundidad de 5 cm. Durante un período de cuatro días.

La gráfica 1.3 nos muestra que mientras la temperatura exterior estaba en -11°C , la temperatura de la tierra era de -2°C y la de la grava era de aproximadamente -7°C , lo que nos da un diferencial de temperatura de 9 K, tan sólo con la capa de tierra a 5 cm.

En la gráfica 1.4, vemos el comportamiento del mismo techo de 16 cm. de espesor, monitoreado durante una semana del mes de enero, que es el más frío para la ciudad de Stuttgart, Alemania. Se registró que cuando la temperatura del aire alcanzaba los -14°C , la temperatura bajo los 16 cm. de tierra era de 0°C . Al mismo tiempo, la temperatura sobre la tierra -a pie del pasto- era de aproximadamente -3°C . lo que deja ver que la mayor reducción del diferencial de temperatura fue aportado por la vegetación (Gráficas 1.3 y 1.4).

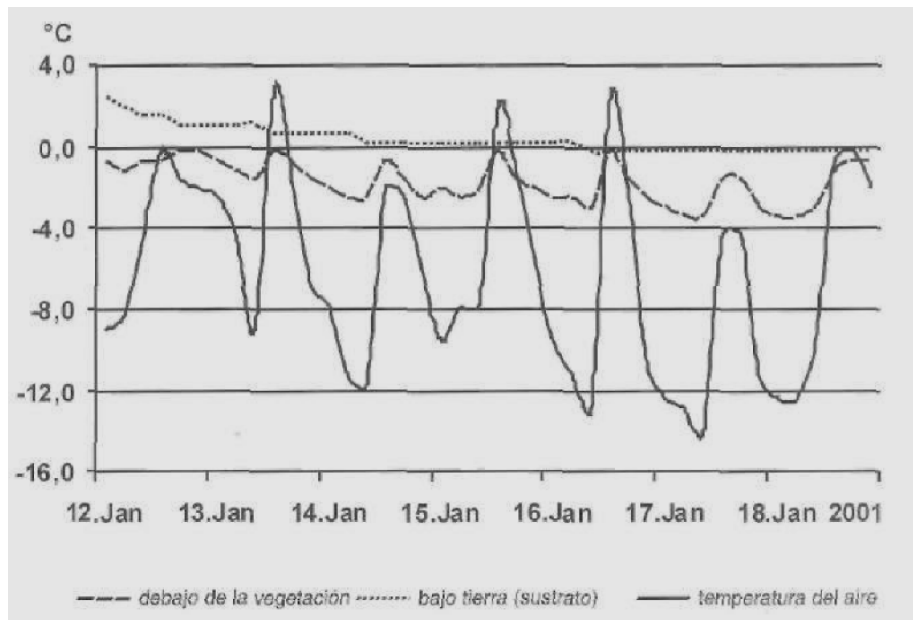
Invierno



— Temperatura del aire - - - Grava - - - Tierra

Gráfica 1.3. Temperaturas a una profundidad de 5 cm. en invierno.
Fuente: (Kolb y Schwartz 1999).

Invierno



Gráfica 1.4. Temperaturas de un techo verde de 16cm. durante el invierno.
Fuente: (Kolb y Schwartz 1999).

1.4.3. Ciudad de México

Para el caso de la Ciudad de México, García (2009) midió una cubierta verde de tipo extensivo implementada en una porción de techo del Museo de Historia Natural de Chapultepec, D. F. donde al término de los 5 días de medición con *Data Logres*⁹ se registró un diferencial de temperatura entre el exterior y el espacio interior de hasta 4 K, lo que significaría que si tuviéramos un espacio con temperatura interior de 30°C, provocada por la radiación incidente en su cubierta, mediante la aplicación de una cubierta verde de tipo extensivo podría hacerse entrar en la zona alta de confort para el mes de mayo en el D. F. Sin embargo en este estudio no se puede identificar qué tanto del beneficio térmico lo aporta la vegetación y qué otro tanto el resto del sistema.

1.5. Energía

Respecto al comportamiento de la vegetación aplicada a edificios, en esta etapa de la investigación se presentan sólo consideraciones generales. Se sabe que el efecto de enfriamiento en verano y aislamiento en invierno, producido por las plantas se da por la capacidad de evapotranspiración, la reflexión de la radiación, el sombreado que produce sobre el sustrato y la techumbre, el consumo de energía (que llega en forma de radiación y la transforma en sus propios nutrientes a través de la fotosíntesis) y la inercia térmica del agua, que forma gran parte del cuerpo del tejido vegetal.

Con la evaporación de un litro de agua son consumidos casi 2,400 kJ = 530 kcal = 0.62 kW/h de energía (Lacomba y Fuentes, 1991). La condensación del vapor de agua en la atmósfera, al formar nubes, libera nuevamente la misma cantidad de energía calórica. Lo mismo sucede cuando por la noche se condensa la humedad en las plantas. La formación del rocío en fachadas y techos verdes trae aparejada una recuperación del calor. Por lo tanto, las plantas solas pueden a través de la evaporación y la condensación de agua, reducir las oscilaciones de temperatura.

1.6. Economía

Una de las principales razones por la que estos sistemas son usados en Estados Unidos y Europa es por los beneficios en costo que traen a mediano y largo plazo, según Philippi (2006):

“Los propietarios de edificios basan sus decisiones principalmente en comparaciones de los gastos adicionales que conlleva incorporar un techo verde contra las ventajas que puede proveer. Por esto, los techos verdes pueden promoverse ya sea por los beneficios que desprenden de ellos o por ahorros que aportará al edificio”

⁹ Sistemas digitales de adquisición de datos térmicos y de humedad.

Los ahorros energéticos y térmicos tienen unidad de medida en los ahorros económicos que registra el usuario. En las mediciones antes citadas para Toronto se concluye que en un área de 50 millones de metros cuadrados, con un 70% de techos naturados, se alcanzaron ahorros de 69 millones de dólares canadienses por energía; 80 millones de dólares canadienses por isla de calor; 118 millones de dólares canadienses por control de lluvias; y 46 millones y medio de dólares canadienses por daños por escurrimientos en los edificios (Doug, 2005). Otro dato económico relacionado con las cubiertas verdes lo aporta Guadalupe Orozco, líder del proyecto ambiental del banco HSBC, al mencionar que las azoteas verdes aumentan 15% el valor de un inmueble comercial.

De acuerdo con Econstrucción (2011) incorporar azoteas naturadas incrementan el valor de las propiedades de un 15 a 25%, por lo que ubican las azoteas y muros naturados como “herramientas mercantiles efectivas”. Asimismo se menciona que un metro cuadrado de tejado verde puede ayudar a filtrar 0.2 kg de esmog y partículas de aerosol al año.

1.6.1. Beneficios fiscales y contables

Tanto a nivel federal como a nivel estatal las asambleas legislativas han comenzado a incorporar iniciativas de ley referentes a temas ambientales. La ALDF está impulsando iniciativas que permitan obtener descuentos en el impuesto predial y en el impuesto sobre la renta si se incorporan ecotecnologías en casas, oficinas e industrias.

En el Código Financiero de Distrito Federal (CFDF, 2006) existen dos Artículos que describen los incentivos financieros otorgados por la implementación de medidas de protección al medio ambiente en la Ciudad de México:

1. Reducciones del Impuesto sobre Nóminas. Artículo 293 (CFDF, 2006).

Se establece una reducción del 50% del impuesto sobre nóminas causado por las personas físicas o morales que realicen actividades de reciclaje orientadas a combatir el deterioro ambiental.

También se otorga una reducción anual del 50% del impuesto causado por las empresas o instituciones que apoyen programas de mejoramiento de condiciones ambientales.

2. Reducciones de impuesto predial. Artículo 294 (CFDF, 2006).

Se establece la reducción del 25% del impuesto predial causada por las empresas de servicios o industriales que adquieran, instalen y operen tecnologías, sistemas, equipos y materiales, o implementen acciones que reduzcan las emisiones contaminantes.

Con lo establecido en ambos artículos se podrían solicitar estos incentivos financieros por la instalación de una azotea o un muro verde, más aún si se instrumentan conjuntamente con medidas de filtración y recuperación de aguas pluviales.

En algunos casos, invertir en la instalación de sistemas de azoteas y muros verdes puede ser

tratado como un gasto de mantenimiento del inmueble, obteniendo así el beneficio de hacerlo deducible de impuestos.

La Secretaría del Medio Ambiente, junto con la Secretaría de Finanzas de la Ciudad de México tiene en proyecto una iniciativa para bajar el predial de un 15 a 25% a los edificios que implementen cubiertas verdes.

Otro tipo de beneficios económicos para las oficinas públicas, pero sobre todo para las sedes de alguna marca comercial, es que a través de la implementación de muros y azoteas naturados, pueden obtener certificados por “Marcas de Calidad” como el sistema LEED¹⁰, que les reditúa en imagen pública y comercial, permitiéndoles ganar terreno en su posicionamiento y penetración comercial. El sistema LEED fue desarrollado por el U.S. Green Building Council (USGBC), para certificar constructores, operadores de edificios y comunidades a cambio de cumplir con su catálogo de acciones prácticas y en los procesos de diseño, construcción, operación y mantenimiento de edificios tendientes a reducir el impacto ambiental de los edificios en su entorno (Edwards, 2008). Se aplica a todo tipo de construcciones comerciales y residenciales nuevas o existentes; a partir de 2009 entró en vigor un sistema que mide el impacto ambiental de comunidades enteras.

1.7. ¿Quién las construye?

1.7.1. Empresas proveedoras

Existen en la actualidad un catálogo indefinido de empresas que ofrecen el servicio de instalación de estos sistemas, dentro de estas hay un grupo de 10 ó 15 empresas que tienen más presencia en el mercado comercial y un servicio más estructurado: Green Roof Systems de México, Geoproductos mexicanos, Econstrucción, Biozotea, ARQHYS, Azoteas Verdes SA de CV, Galicia Ríos Landscapig, Mylarq, Bioconstrucción y Energía Alternativa, SA de CV entre otras.

Destacamos el caso de Green Roof Systems de México (con matriz en Inglaterra), que es fabricante e instaladora que ha participado en gran cantidad de proyectos. Igualmente Geoproductos mexicanos, ha desarrollado sus actividades en este campo desde hace más de 20 años.

En cuanto a muros verdes ubicamos a las empresas: Econstrucción, una promotora llamada VERDF, A. C., Regiotec & Garden SA de CV (Monterrey), Biosustentare, SA de CV, Hebra, SA de CV, Planta Arquitectónica.

1.7.2. Institutos e investigadores

La primera experiencia en el establecimiento de estos sistemas en México comenzó en 1999 en el Instituto de Biología de la UNAM, mediante un convenio con la Comisión de Recursos Naturales del Gobierno de la Ciudad de México (Corena) como una medida urgente durante la gestión de Cuauhtémoc Cárdenas para mitigar los altos índices de contaminación

¹⁰ Programa de Liderazgo para la Energía y el Diseño Medioambiental, por sus siglas en inglés.

atmosférica en la Ciudad de México. Estos esfuerzos siguen haciéndose en la UNAM. La Institución que actualmente ha invertido más empeño, tiempo y genera más ejemplos instalados es la Universidad Autónoma Chapingo, que además se reconoce como la pionera, que trajo a México estos sistemas hace casi treinta años. La Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco está aportando investigación al tema, desde la perspectiva bioclimática.

1.7.3. Autoconstrucción

Existen cada vez más interesados en usar estos sistemas. Se estima que éste es un mercado que crece a un ritmo del 25% anual (Valdés, 2008). En muchos de los casos, son implementados sin la suficiente información técnica, inclusive por parte de arquitectos, ingenieros y paisajistas que los instalan. Hay algunas instituciones que están capacitando a los interesados en general en el tema a través de cursos informativos y talleres, tales como la Asociación Azoteas Verdes, A.C. o la Asociación Mexicana de Naturación de Azoteas. Existen otros cursos impartidos por el gobierno del D. F. a través de la misma SMADF, pero son sobre todo a nivel divulgatorio, que no capacita a los interesados para construir sus envolventes naturadas, sobre todo tratándose de sistemas que implican una sobrecarga estructural y protección compleja contra humedades. Aún más lejano queda el tema térmico.

1.8. Políticas públicas

1.8.1. Programas implementados

Gran porcentaje de los programas impulsados por organismos públicos se dan en la Ciudad de México. El Gobierno del D. F. tiene actualmente el programa Plan Verde que entre sus objetivos promueve la construcción de azoteas y muros verdes desde los mismos organismos de gobierno, con la meta según sus propias cifras de implementar 30, 000 m² por año (Plan Verde, 2010).

La principal estrategia del gobierno federal en materia ambiental y energética enfocada a los ciudadanos es la Guía Metodológica para el Uso de Tecnologías Ahorradoras de Energía y Agua en las viviendas de interés social en México, coeditado por la SEMARNAT, Instituto Nacional de Ecología, INFONAVIT, SENER, CONAE, FIDE, UNAM, y la AEAEE, A.C. Misma que omite el uso de las azoteas verdes como tecnología de techumbre y aislamiento aplicada al ahorro en gasto energético. Esta misma Guía Metodológica es uno de los documentos en que se apoya la calificación de hipotecas verdes (AEEE, 2007).

El programa Hipoteca Verde del INFONAVIT otorga una línea de crédito para edificación, acondicionamiento de viviendas ecológicas o implementación de ecotecnias en ellas, donde la información concreta acerca de las azoteas verdes no se encuentra presente; Se incluyen algunos criterios como *Integración de Vegetación*, *Diseño Bioclimático*, *Asoleamiento* y *Protección*, que suponemos pueden dar cabida a la propuesta de las azoteas naturadas, pero queda la duda si se tienen los criterios de valoración y aprobación como ecotecnia. Como se mencionó antes, no está valorado en tanto aislante.

1.8.2. Normatividad

En el Distrito Federal, desde el año 2007 se promulgó la Norma **NADF-013-RNAT-2007** (2006), que regula las características que tienen principalmente las cubiertas naturadas, y que deben cumplir para obtener resultados positivos. Se hace notar que no existe una norma igualmente completa acerca de los muros verdes. Esta Norma es pionera en América Latina, no solo en el país, en la regulación de estos elementos. A nivel federal, la vegetación se considera solo como elemento de sombreado en la norma NOM-008-ENER-2001, que es una norma de eficiencia energética para evitar el sobrecalentamiento en las envolventes de las edificaciones y con esto prescindir de uso de equipos de aire acondicionado.

Igualmente el gobierno del D. F. cuenta con la norma ambiental **NADF-006-RNAT-2004** (2005), publicada con la finalidad de establecer las especies vegetales adecuadas para ser incluidas en los proyectos de arbolado, jardinería y paisaje dentro de la Zona Metropolitana del Distrito Federal. Esto con la finalidad de revisar cuáles especies útiles a las envolventes verdes están incluidas, y probablemente proponer otras que deberían estar.

En contraste, una normativa del gobierno municipal de Tokio, todos los edificios construidos después de 2001 cuya azotea tenga extensión superior a los 1000 m² deberán convertir en verde por lo menos un 20 por ciento de su superficie. Que es hacia donde debemos avanzar.

1.8.3. Apoyos, financiamientos y accesibilidad

El único programa de financiamiento directo a la construcción de envolventes verdes por particulares, identificado en este momento es el de Vivienda Sustentable del Gobierno del D. F. a través del INVI, que otorga financiamientos para aplicarlos en forma de ecotecnias a las viviendas, entre ellas las azoteas naturadas. En su portal, el INVI manifiesta un total de 109 millones 139 mil 145 pesos para la inclusión de ecotecnias, pero no precisa cuánto de este recurso corresponde particularmente a naturación de muros o azoteas (INVI, 2011). En cuanto al gobierno federal, en su programa Hipoteca Verde, ésta es una de las grandes deficiencias, ya que tiene programas de muy bajo impacto energético y cortoplacistas, que se basan en ofrecer créditos caros para compra de electrodomésticos de bajo consumo. En contraste, debemos mencionar como dato general, que el gran avance que tiene Alemania, como país señero en este rubro se debe a que los gobiernos apuntalan su desarrollo mediante el financiamiento no lucrativo de energías limpias a los propietarios de las edificaciones, y a que es un país que ha comprendido que su subsistencia económica depende de la autosuficiencia energética, que estando en Europa central, sin producción de petróleo ni gas, tienen la necesidad de aprovechar al máximo sus recursos naturales en ahorrar energía, conservando buena calidad de vida.

1.9. CONCLUSIONES

- Tenemos en México una historia reciente en el uso de estos sistemas, y nuestra incorporación como país, se ha guiado por modelos extranjeros que no han surgido de nuestra propias condiciones naturales, climáticas, tecnológicas e industriales.
- Existen muchos sistemas de azoteas y muros verdes que deben ser tomados como referencia para crear nuestros propios sistemas. Pero hoy se implementan sin transferencia tecnológica.
- Del total de sistemas registrados en este Capítulo, sólo uno, el de Patrik Blank, se aproxima a ser más ligero, pero además de ser sólo para muros, no prescinde de una estructura portante de apoyo que debe ir soportada a su vez por la envolvente arquitectónica.
- Los proveedores de estos sistemas no tienen estimado y menos cuantificado el impacto térmico y energético que aportan las envolventes verdes. Quienes dan algunas cifras a este respecto, citan las mismas cifras ya hechas, de estudios realizados en Alemania, Canadá y Estados Unidos.
- El Gobierno del D. F. ofrece incentivos de tipo fiscal que estimulan la implementación de azoteas verdes que impactan poco al usuario particular de una vivienda, su beneficio se dirige a las empresas de mayor capacidad financiera y compromisos fiscales.
- Los sistemas de techos verdes y muros vegetales son suministrados e instalados por una veintena de empresas, y estudiados por instituciones académicas como la UNAM, la UACH, y la UAM, así como el Gobierno del D. F. El sector popular y vivienda no tiene acceso a ellos por medio de la autoconstrucción bien asesorada.
- El Distrito Federal es la única entidad a nivel nacional que cuenta con una Norma (NADF-013-RNAT-2007) que regula las características constructivas que debe tener una azotea verde.
- Igualmente debe existir en corto o mediano plazo una Norma Ambiental u Oficial que especifique las aportaciones térmicas y energéticas de las azoteas y muros naturales.

CAPÍTULO

2

ANTECEDENTES CONSTRUCTIVOS

EDIFICACIONES Y ENVOLVENTES VERDES EN LA CIUDAD DE MÉXICO

ÍNDICE DEL CAPÍTULO 2

- 2.1. Edificios y su envolvente
- 2.2. Sistemas constructivos y materiales
- 2.3. Tendencias constructivas venideras
- 2.4. Envolventes verdes en el D.F.
 - 2.4.1. ¿Dónde se han aplicado?
 - 2.4.2. Techos naturados
 - 2.4.3. Muros vegetales
- 2.5. Techos y muros Vs envolventes verdes
 - 2.5.1. Requerimientos de un edificio para ser naturado
 - 2.5.2. Conformación geométrica y envolventes verdes
 - 2.5.3. Campo de aplicación
- 2.6. Conclusiones

2.1. Edificios y su envolvente

Una de las limitantes que tienen los sistemas de naturación, es el sobrepeso que incorporan a la estructura ya existente, en los casos que no nazca con el proyecto original. Por este motivo se ha tratado de establecer cuáles edificios pueden estar dentro de rango de capacidad de carga baja.

En este momento la vivienda es el único género de edificaciones que tiene un seguimiento en bancos estadísticos que especifiquen el tipo de materiales en techumbre, que es el elemento más crítico que puede ser naturado. En éste mismo nos enfocaremos para revisar las que cuentan con materiales de construcción ligeros, para dar una proyección del impacto que puede tener un sistema de naturación aligerado al incorporarse a este sector de edificaciones.

El parque habitacional en el Distrito Federal de acuerdo a cifras del Consejo de Población del Distrito Federal (COPODF, 2000), entre 1990 y el 2000 se incrementó de 1'798,067 a 2'131,410 respectivamente.

De acuerdo con la Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción (CMIC) DF, el parque habitacional en este año es de 2,215, 451 casas habitación (CMIC, 2005). La misma CMIC, incluye dentro del rubro de viviendas con necesidades de mejoramiento a 49,019, correspondiente al 11.5% del total nacional, que hace del D. F. el segundo a nivel nacional con éste déficit (Tabla 2.1).

El COPODF (2000) registró que del total de viviendas en el D. F. el 12.3% correspondió a viviendas con techo de lámina de cartón, asbesto o metálica, que suman un total de 262,164 viviendas.

INDICADORES DE VIVIENDA (2005)⁹			
No. total en el estado:	2.215.451	9,2 % del nal.	2 lugar nal.
<u>Viviendas sin servicios de</u>		<u>% del total del edo.</u>	
Agua potable:	29.250	1,3	18 Lugar nal.
Drenaje:	9.731	0,3	30 Lugar nal.
Energía eléctrica:	3.549	0,1	28 Lugar nal.
<u>Número de viviendas con:</u>		<u>% del total del edo.</u>	
Piso de tierra:	22.425	0,9	22 Lugar nal.
Piso de cemento:	1.123.655	8,4	2 Lugar nal.
Piso de Madera:	1.045.413	13,0	2 Lugar nal.
<u>Necesidades de vivienda 2008 (número)¹⁰</u>			
Mejoramiento de vivienda:	49.019	11,5	2 Lugar nal.
Vivienda nueva:	38.044	5,0	6 Lugar nal.
Núm. Matrimonios civiles:	44.658	7,5 % del nal.	

Tabla 2.1. Indicadores Estatales de la Construcción del Distrito Federal.
Fuente: (CMIC, 2005).

En el *Informe Especial sobre Seguridad Humana en la Ciudad de México 2006-2008*, la CDHDF (2008) registra que existen 281,000 casas cuyos techos están contruidos con lámina de asbesto, cartón, madera o material de desechos. A esto sumamos la gran cantidad de estructuras ligeras de paneles de cemento, yeso o sintéticos, prefabricados que cada vez domina más el sector de la construcción en México, y que desde hace unos 15 años se incorpora con mayor fuerza al mercado global inmobiliario.

En la Ciudad de México se cuenta también con un patrimonio artístico cuantioso, que tiene requerimientos de preservación – intervención muy estrictos y en general con capacidades de carga limitadas, y estos pudieran ser otro género considerado para ser naturado con un sistema ligero. El INBA reconoce en el país 11 mil 200 inmuebles con valor artístico, aunque en palabras de Sara Topelson, directora de patrimonio Inmobiliario de la Dependencia en 2003, “el patrimonio del siglo XX es tierra de nadie”, por desconocerse en su real magnitud y valía (Amador, 2003).

Se ha hecho un reconocimiento gráfico de las estructuras industriales que por su gran dimensión son identificables desde una vista satelital por medio de Google earth, para estimar el porcentaje de estructuras con techumbre de lámina que se encuentran en un radio de 3km a partir de la UAM Azcapotzalco, tomando en cuenta que la velocidad con que una persona camina en paso reposado es de aproximadamente 3km/h. En la imagen siguiente se observan en color amarillo las superficies de techumbre de lámina presentes en este sector. Dentro del radio establecido, el 16% de la superficie se encuentra cubierto por techumbre de lámina, que si sumamos a esto el porcentaje que le corresponde de techumbres no visibles a esta escala y las dispuestas en casas habitación, antes mencionada en las estadísticas, aumentará la proporción (Figura 2.1).

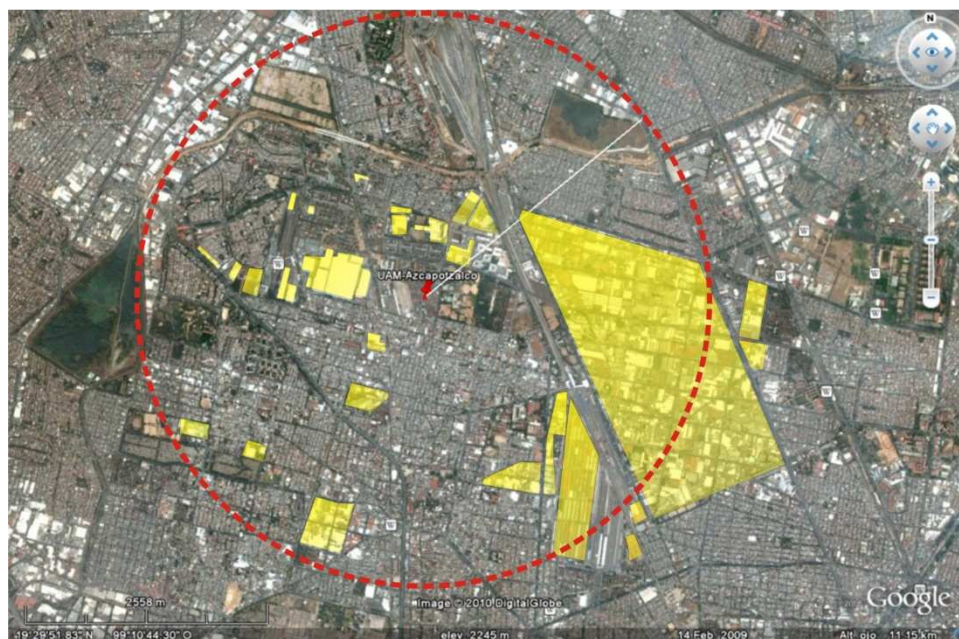


Figura 2.1. Grandes estructuras Industriales con techumbre de lámina en torno a la UAM Azcapotzalco
Fuente: Imagen procesada en Corel, en base a imagen satelital de Google earth (2010).

2.2. Sistemas constructivos y materiales

En la actualidad se conservan los sistemas constructivos tradicionales en la edificación de vivienda unitaria, que es la que menos se construye en la ciudad. La mayor parte de la vivienda en conjuntos de gran escala se está construyendo en los alrededores de la Zona Metropolitana del Valle de México, y los grandes desarrolladores como GEO, ARA, ICASA y SADASI construyen principalmente con dos sistemas: block hueco de cemento y concreto armado en muros, y losas de concreto (Figueroa, et al, 2011). De acuerdo con el INEGI (2005) los materiales más usados en muros en el parque habitacional de la Ciudad de México son, por intensidad de uso: materiales pétreos, adobe, madera, lámina de cartón, lámina de asbesto o metálica, seguido por materiales poco usados como carrizo y bajareque o desecho. Dentro de este conteo hay un grupo gran de materiales usados en los muros de las viviendas que se nombran como “no especificados”. En lo que se refiere a los techos, los más utilizados por intensidad de uso son: materiales pétreos, lámina de asbesto o metálica, lámina de cartón, palma, tejamanil o madera, teja, desecho, y un grupo grande de materiales no especificados INEGI (2005). (Tabla 2.2 y 2.3). En el sector público e industrial, predomina el uso de materiales prefabricados y ligeros.

Material predominante por vivienda. Muros

Material	Viviendas		Ocupantes	
	Absolutos	Relativos	Absolutos	Relativos
Entidad	2 102 753	100	8 448 104	100
Material de desecho	1 801	0.1	7 073	0.1
Lámina de cartón	9 563	0.5	43 030	0.5
Lámina de asbesto y metálica	6 258	0.3	26 994	0.3
Carrizo, bambú y palma	37	0.0	141	0.0
Embarro y bajareque	357	0.0	1 483	0.0
Madera	9 995	0.5	42 492	0.5
Adobe	10 683	0.5	43 180	0.5
Tabique, ladrillo, block, piedra, cantera, cemento y concreto	2 051 595	97.6	8 235 851	97.5
No especificado	12 464	0.6	47 860	0.6

Tabla 2.2. Muros, Material predominante en vivienda.
Fuente: (INEGI, 2005).

Material predominante por vivienda. Techos

Material	Viviendas		Ocupantes	
	Absolutos	Relativos	Absolutos	Relativos
Entidad	2 102 753	100	8 448 104	100
Material de desecho	1 542	0.1	5 829	0.1
Lámina de cartón	70 118	3.3	310 270	3.7
Lámina de asbesto o metálica	188 389	9.0	796 101	9.4
Palma, tejamanil o madera	3 263	0.2	12 843	0.2
Teja	2 233	0.1	8 991	0.1
Losa de concreto, tabique, ladrillo y terrado con viguería	1 823 796	86.7	7 262 874	86.0
No especificado	13 412	0.6	51 196	0.6

Tabla 2.3. Techos, Material predominante por vivienda.
Fuente: (INEGI, 2005).

2.3. Tendencias constructivas venideras

Actualmente la vivienda existente en el D. F. se encuentra fuertemente dominada por las casas unitarias o independientes, en un 86.5% del total. A los departamentos en edificio corresponde sólo el 8%, que es suficiente para ocupar el primer lugar nacional en este tipo de habitación (INEGI, 2003). No obstante esta condición, la dinámica inmobiliaria en el Distrito Federal, se orienta predominantemente hacia el desarrollo de departamentos, por la escasez de terrenos, su elevado costo y la búsqueda de la utilidad inmobiliaria. Los sistemas constructivos cada vez más, son prefabricados, presentando en los sistemas portantes de los edificios estructuras de concreto armado y acero, en orden de uso.

A nivel nacional y global, es una realidad que debido a los índices de crecimiento demográfico y la tendencia de la población a concentrarse cada vez más en centros urbanos, la densificación de las ciudades está provocando solucionar los problemas de dotación de espacios para la actividad humana, en edificaciones verticales. Se estima que en este momento, más del 47% de la población mundial reside en áreas urbanas (Yeang, 2001). Hoy, las ciudades más pobladas del mundo superan los 10 millones de habitantes y esta tendencia es irreversible a futuro (Tabla 2.4).

Ciudad	1955	2005	2015 (estimado)
Tokio	13.710.000	35.200.000	35.500.000
Mumbai (Bombay)	3.520.000	18.200.000	21.900.000
Ciudad de México	3.800.000	19.400.000	21.600.000
Sao Pablo	3.030.000	18.300.000	20.500.000
New York	13.220.000	18.500.000	19.900.000
Shangai	6.865.000	14.500.000	17.200.000

Tabla 2.4. Proyección de Población en las ciudades más pobladas.
Fuente: (ONU, 2009).

Además de las tendencias que está marcando la dinámica demo social, existen teóricos del urbanismo arquitectura y sostenibilidad que afirman que el esquema espacial más racional para las ciudades altamente pobladas, su optimización de recursos y reducción de impactos al ambiente es el rascacielos. Uno de ellos, Yeang (2001) cita un estudio de Thomas Herzog, relativo a la movilidad urbana, donde estima que intensificar la densidad urbana de 3.9 viviendas/ha a 39 viviendas/ha, puede reducir los desplazamientos en un 40%. Mc. Laren, en 1996 demostró que el transporte público es rentable a partir de densidades de 30 a 40 viviendas/ha, y hacer los trayectos a pie es viable para densidades de unas 100 viviendas/ha Yeang (2001).

La densificación del Distrito Federal es la más alta del país, y una de las más altas a nivel mundial (Tabla 2.5).

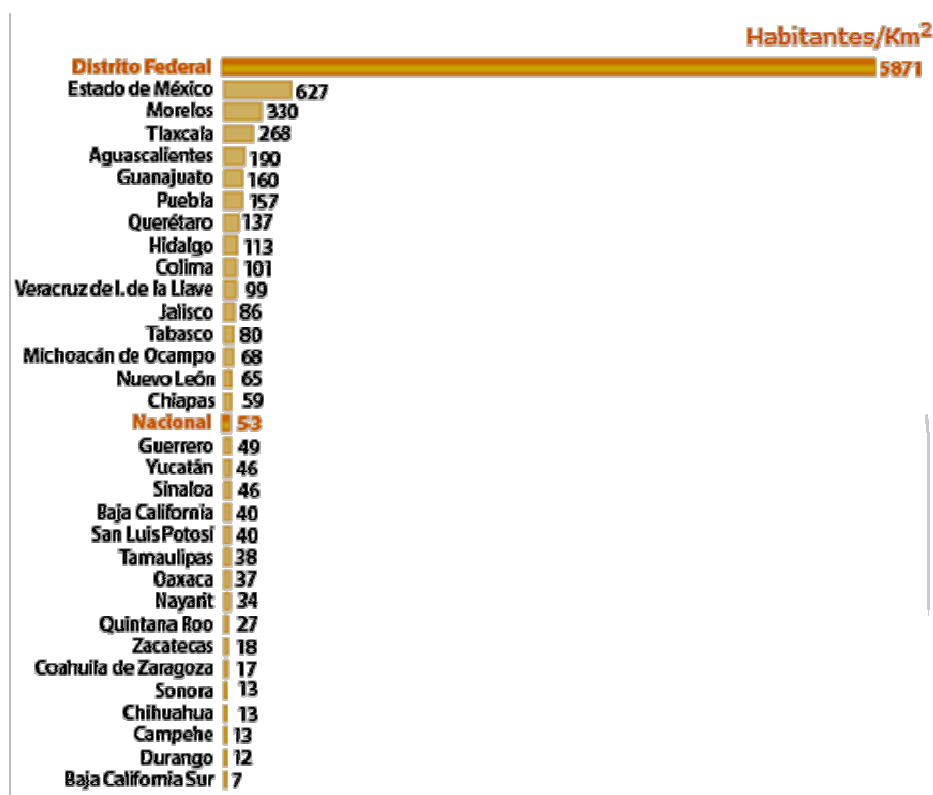


Tabla 2.5. Densidad poblacional en el D. F.
Fuente: (INEGI, 2005).

En la siguiente gráfica se muestra que a pesar de que observamos diariamente que la oferta inmobiliaria en el D. F. se enfoca mayoritariamente a edificar y ofertar departamentos (Figueroa, et al, 2011), el porcentaje de este género de viviendas, con respecto a las particulares, es mucho menor, lo que da un amplio margen de acción a los constructores para seguir avanzando en la densificación de la ciudad (Tabla 2.6).

Concepto	Nacional	Entidad	Lugar nacional
Total de viviendas particulares habitadas	24 006 357	2 215 451	2°
Clase de vivienda			
Casa independiente (%)	86.5	53.6	32°
Departamento en edificio (%)	8.0	31.8	1°

Tabla 2.6. Vivienda particular - clase - lugar nacional - 2005 - en la entidad
Fuente: (INEGI, 2005).

Uno de los aspectos positivos que observamos en el proceso de construcción vertical en la ciudad de México, es que en ésta misma medida aumentan las superficies de las fachadas que pueden multiplicar por mucho la capacidad de la ciudad para recibir áreas naturadas. Tomando como ejemplo un edificio alto como la nueva sede de Relaciones Exteriores en el Centro Histórico de la Ciudad de México, se registra en azotea un área aproximada de $45 \times 45 \text{ m} = 2,025 \text{ m}^2$. En total sus fachadas suman un área de 5, 500 m² (270% respecto a la azotea), ya descontando las superficies traslúcidas (Figuras 2.2 y 2.3).



Figura 2.2. Edificio de Relaciones exteriores, D. F.



Figura 2.3. Centro Histórico del D. F.

Fuente: (Google earth, 2010).

En lo referente a los materiales, además de la tendencia a la prefabricación por abreviar los tiempos de ejecución de la obra, abatir costos en transportación y estiva, y generar considerables economías al reducir los pesos de las edificaciones, existe otro razonamiento en torno al ciclo de vida de los edificios, que plantea que se puede conseguir un proyecto más racional, considerando utilizar en la edificación materiales con un alto grado de Reutilización (preferentemente) o Reciclamiento. A la vez que se tratará de usar materiales con un solo ciclo de vida útil. Por esto, las edificaciones con materiales cada vez más aligerados y modulados a los estándares industriales ganarán cada vez más terreno.

Por esto se debe observar con detenimiento que estos materiales constructivos tengan un buen desempeño bioclimático, a favor del confort del usuario y del medio ambiente que los recibe.

2.4. Envolventes verdes en el D. F.

2.4.1. ¿Dónde se han aplicado?

Las envolventes verdes se han aplicado principalmente en edificios públicos y en cedes de institutos, escuelas o dependencias. Ya se comentó antes que el primer techo verde aplicado en el D. F. fue en el Instituto de Biología de la UNAM (Figura 2.4). De los primeros techos verdes profesionalizados que se aplicaron en un edificio público fue en el edificio del banco HSBC.

2.4.2. Techos naturados

Existen ejemplos en el Cendi del Sistema de Transporte Colectivo Metro, La Universidad Autónoma Chapingo, en conjuntos residenciales de Guadalajara y Jalisco, en el Superama de Polanco (Figura 2.12), en la ex Cárcel de Mujeres del D. F. (Figura 2.10), en la Preparatoria Ricardo Flores Magón (Figura 2.11), en el Jardín Botánico de la UNAM, en el Museo de Historia Natural de Chapultepec, en escuelas de la delegación Xochimilco (Figuras 2.5, 2.6 y 2.13), en la estación del Metro Insurgentes (Figura 2.7).

La AMENA (2011) enlista un registro cronológico del establecimiento de techos verdes:

1994. UACH instaló 4 techos de 75 m² c/u para la selección de vegetación.
1999. la Secretaría de Medio Ambiente del Distrito Federal (SMA) y el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) autorizan prueba piloto en escuelas públicas.
2003. la delegación Xochimilco es la primera demarcación en incluir la naturación de azoteas en escuelas públicas de la zona urbana, como un programa de gobierno dentro de la Dirección General de Medio Ambiente.
2004. El banco HSBC (Figura 2.9), implementa la naturación de azoteas.
2005. El grupo San Carlos incluye la naturación en su desarrollo ecológico (Zapopan, Jalisco).
2006. El Museo del Acero en el Parque Fundidora Mty. (Figura 2.8), con pastos de la región, cosecha de agua de lluvia para riegos de apoyo con micro aspersión.
2007. La SMA en conjunto con el STC (METRO) y la UACH instalan los primeros 2,000 m² de naturación de azoteas, como una línea de trabajo estratégica dentro del Plan Verde y la Agenda Ambiental del GDF.



Figura 2.4. Azotea naturada del Instituto de Biología de la UNAM.
Fuente: (AMENA, 2010).



Figura 2.5. Del. Xochimilco Programa de Naturación de Azoteas. Ejecución Universidad A. Chapingo.
Fuente: (AMENA, 2010).



Figura 2.6. Escuela secundaria, Xochimilco, D. F.
Universidad Autónoma Chapingo.



Figura 2.7. Metro Insurgentes, D. F.
Universidad Autónoma Chapingo.

Fuente: (AMENA, 2010).



Figura 2.8. Museo del acero Monterrey, Nuevo León
Green Roof Systems de México.



Figura 2.9. Banco HSBC, Ciudad de México.
Green Roof Systems de México.

Fuente: (AMENA, 2010).



Figura 2.10. Excárcel de mujeres, D. F.
Universidad Autónoma Chapingo.



Figura 2.11. Preparatoria R. Flores Magón, Tlalpan.
Universidad Autónoma Chapingo.

Fuente: (AMENA, 2010).



Figura 2.12. Superama, Polanco, D. F.
Green Roof Systems de México.



Figura 2.13. Secundaria técnica, Xochimilco, D. F.
Universidad Autónoma Chapingo

Fuente: (AMENA, 2010).

2.4.3. Muros vegetales

Los ejemplos de muros verdes en el D. F. son pocos. El más conocido es el muro verde de la calle Primer Callejón de 5 de Mayo, en el Centro Histórico (Figuras 2.14 a 16), que se manejó como icono de una actitud ambientalista, e inclusive se le preparó una inauguración por parte del Jefe de Gobierno del D. F. Se conoce otro ejemplo en una tienda Nike, un edificio en la Lomas de Chapultepec, en una casa residencial de Tlacopac, D. F. otro en un condominio de la Delegación Iztacalco; un Proyecto para la Calle 5 de Mayo, Centro Histórico y hacemos mención especial de un proyecto del muro verde más grande del mundo para la Plaza Bicentenario que tendrá lugar en la actual Plaza Tlaxcoaque, con dimensión de 250 metro de largo por 18 de alto, y será construida por los arquitectos italianos Antonio Espósito y Elena Bruschi.

En enero de 2009 el Gobierno del Distrito Federal puso en marcha el plan "Unidades Habitacionales Sustentables", que se propuso instalar en edificios "jardines verticales", paneles solares y filtros de agua pluvial. La primera unidad habitacional beneficiada con el nuevo programa, recibió una inversión equivalente a 144 mil dólares. La unidad es "La Valenciana", en Iztapalapa (Figura 2.17), donde se colocaron 700 metros cuadrados de muros vegetales con el concepto de ser jardines verticales.



Figura 2.14. Muro verde callejón de 5 de mayo, Centro, D. F. Aspecto inicial.
Fuente: (Toma en sitio, 2009).



Figuras 2.15 y 2.16. Muro verde callejón de 5 de mayo, Centro, D. F. Su aspecto es distinto al originalmente buscado. Tiene gran invasión de hierbas. Una de sus dificultades es el riego y la colección de agua de escurrimientos.

Fuente: (Toma en sitio, 2010)



Figura 2.17. Muro verde Unidad Habitacional “La Valenciana”, Iztapalapa, D. F.
Fuente: Fotografía de Manuel Durán (Reforma, 2003).

2.5. Techos y Muros vs envoltentes de verdes

2.5.1. Requerimientos de un edificio para ser naturado

De acuerdo a la norma NADF-013-RNAT-2007, en las edificaciones existentes es necesario en primer lugar realizar un análisis y evaluación estructural que deberá ser presentado ante la Secretaría del Medio Ambiente al momento de presentar el proyecto ejecutivo. De igual manera el edificio debe tener la capacidad de soportar 140 kg/m^2 de carga muerta para sistemas extensivos y 250 kg/m^2 para el caso de sistemas intensivos. En el caso de que la edificación no pueda soportar estos pesos, se deberá hacer la restructuración adecuada para tal efecto. Se debe contar con pretils de por lo menos 20 cm de altura en toda la periferia del área a naturar; Reubicar instalaciones existentes por lo menos a 4 cm de altura del nivel actual de losa terminada.

El soporte base de las cubiertas naturadas deberá tener una pendiente mínima del 2%. Para el caso de cubiertas inclinadas, con pendiente superior al 36% (20° aproximadamente) y menor al 58% (30° aproximadamente), se deberán implementar las protecciones adecuadas contra deslizamientos; las cuales serán seleccionadas por el encargado responsable del proyecto y el encargado responsable de la construcción de la siguiente lista:

- Láminas con receptáculos
- Mallas tridimensionales
- Tableros o vigas dispuestos perpendicularmente a la pendiente
- Tirantes dispuestos horizontalmente entre la capa de sustrato
- Para cubiertas inclinadas con una pendiente mayor al 58% deberán tomarse las medidas complementarias que resulten pertinentes para garantizar la estabilidad de los materiales tales como el anclado de las protecciones y el análisis estático.

En cubiertas con pendientes superiores al 5% es recomendable el uso de sustratos monocapa y en cubiertas con pendiente mayor al 10% es obligatorio para evitar los deslizamientos (NADF-013-RNAT-2007).

Los techos de lámina pueden tener diferentes capacidades de carga de acuerdo a su peralte y separación entre apoyos. Se presentan algunas capacidades para lámina galvanizada (Tabla 2.7).

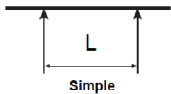
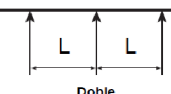
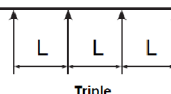
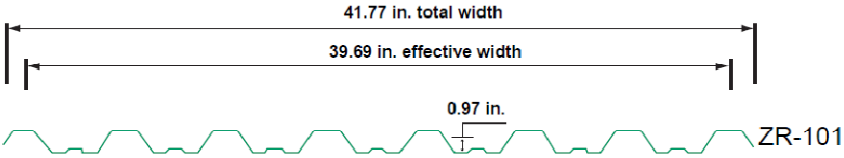
		CARGA UNIFORME PERMISIBLE KG/M ²					
Condición de apoyo	L (m.)	Calibre					
		30	28	26	24	22	20
	0.80	255*	375*	531*	734	901	1086
	1.00	214	280	351	469	584	969
	1.20	148	194	243	364	405	483
	1.40	108	142	171	229	298	343
	1.60	83	110	137	184	228	272
	1.80	66	87	108	144	180	215
	2.00		70	88	104	146	174
	2.20		49	58	78	98	118
	0.80	200	298*	457*	673	861	1050
	1.00	195	252	310	431	550	672
	1.20	135	175	215	299	383	467
	1.40	99	129	158	219	281	343
	1.60	77	98	121	168	215	263
	1.80	61	78	96	132	170	208
	2.00		63	78	107	138	168
	2.20			64	89	114	139
	0.80	260*	339*	519*	841	1076	1312
	1.00	243	315	387	538	689	839
	1.20	169	219	268	373	479	584
	1.40	124	161	198	274	352	428
	1.60	95	123	151	210	268	328
	1.80	75	97	120	166	212	259
	2.00	61	79	97	135	185	210
	2.20		65	80	111	143	167
							

Tabla 2.7. Carga uniforme permisible para lámina acanalada.
Fuente: (Villacero, 2010).

Las capacidades de carga presentadas son de una lámina de 1" de peralte. La más baja capacidad de carga para éste género de techumbre, para un calibre 28 es de 49 kg/m^2 , en el caso más desfavorable al estar trabajando bajo apoyo simple, con un claro de 2.20 m entre sus dos extremos.

Estas mismas láminas trabajando bajo un triple apoyo llegan a tener la capacidad de carga de 167 kg/m^2 en calibre 20. Aún cuando esta es la máxima capacidad de carga, se encuentra ya muy próxima al peso promedio de el formato de cubierta naturada disponible en la actualidad, correspondiente al sistema extensivo, que arroja 140 kg/m^2 .

En el caso del sistema arcotecho, pese a ser un sistema que no tiene apoyos estructurales intermedios, la configuración de la lámina formada le da gran resistencia, marcándose capacidades a empujes de hasta 200 kg/m^2 (Arcotecho, 2010).

2.5.2. Conformación geométrica y envolventes verdes

Estos sistemas tienen un límite de aplicación en cuanto a las pendientes, y la forma de la cubierta. En la medida que las cubiertas sean menos horizontales, se dificulta y encarece su implementación. De esta manera, por geometría, quedan excluidos de esta posibilidad las cúpulas y techos de aguas muy empinados, aunque se tiene también la posibilidad de trabajarlo ya como muros verdes.

Las cubiertas verdes pueden llegar a tener pendientes de 40° y más, sin embargo, en la medida que se aumenta la pendiente, se tienen que aumentar la cantidad de refuerzos y contenciones para evitar que el sustrato se deslice y se valla acumulando en la parte baja. Estos refuerzos tienen que ir anclados a la cubierta, lo que en el caso de una techumbre de material ligero, resulta contraproducente al tenerse que anclar soportes directo al material base, generando puntos de infiltración de agua, y sumando peso muerto adicional. (Figuras 2.18 a 2.22).

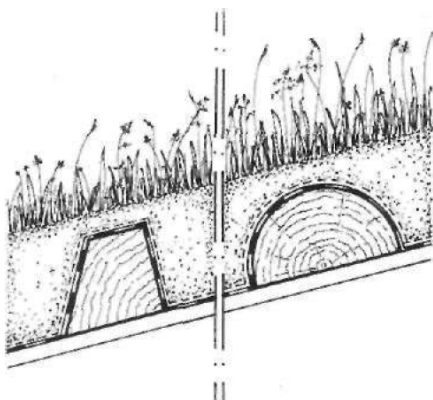


Figura 2.18

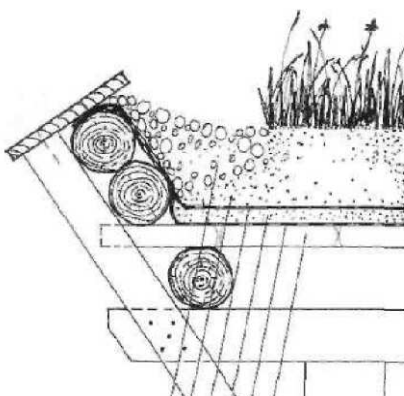


Figura 2.19

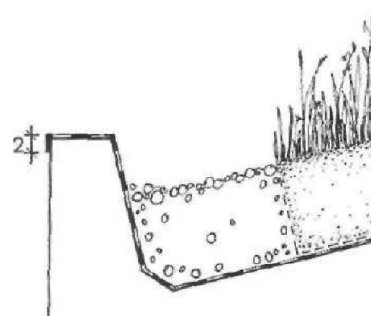


Figura 2.20

Figuras 2.18, 2.19 y 2.20. Seguridad contra deslizamiento de sustrato (Minke, 2005).
Fuente: (Minke, 2005).



Figura 2.21. Cubierta con 45° de inclinación, Berlín, 1985.



Figura 2.22. Cubierta inclinada con costales de sustrato en la Universidad de Kassel, Alemania, 1977.

Fuente: (Minke, 2005).

Dada la geometría de algunas cubiertas, aunado a su material constructivo de base, hace que en la actualidad la naturación no esté aplicada prácticamente a ningún techo de lámina tipo *arcotecho*, o cúpula de material pétreo. Sobre todo en el caso de nuestro país, las cubiertas naturadas son por lo general, planas. (Figuras 2.23 y 2.24).



Figura 2.23. Arcotecho



Figura 2.24. Arcotecho.

Fuente: tomas en sitio (2010).

2.5.3. Campo de aplicación

Como se ha dicho, la naturación de azoteas y muros se ha aplicado en estructuras de configuración y materiales tradicionales, donde las capacidades de carga son aptas para recibir cualquiera de los sistemas conocidos. En conversación personal con el Ing. Alejandro Ramírez (Comunicación personal, marzo de 2010), director general y fundador de la empresa

Geoproductos Mexicanos, comentó que el interés de algunos clientes de esta empresa por hacer importantes encargos de naturación de azoteas se detiene por contar con estructuras de baja capacidad de carga, o tener cubiertas con geometrías de difícil empatía con los sistemas que manejan de manera estandarizada. Estas limitantes requieren que algunos clientes tengan que reestructurar (con el sobre costo que implica) o desistir de su iniciativa.

2.6. CONCLUSIONES

- Se registran actualmente al menos 262,164 viviendas en el D. F. y un amplio sector de la industria con cubiertas metálicas, que se encuentran fuera de posibilidad de ser naturadas al tener cubiertas de baja capacidad de carga. En un radio de 3km alrededor de la UAM Azcapotzalco (29,609 m²), se registraron cubiertas de lámina que cubren el 16% del área equivalente a 4,737 m², que a su vez son el 30% de los metros cuadrados de azotea verde que tiene hoy el D. F., Igualmente se encuentran hoy fuera de posibilidad de ser naturados.
- Instaladores y proveedores de estos sistemas, en su experiencia de 20 años confirman que los propietarios de edificios que requieren ser reestructurados para naturar o que tienen edificios de materiales ligeros, desisten de su iniciativa. Por esto, un sistema de de naturación ligero contribuirá a incorporar este parque edilicio a la naturación.
- La Ciudad de México es una de las más densamente pobladas del mundo y a futuro slo será más. Asimismo aumentará su cantidad de suelo urbano. Es por esto urgente implementar áreas verdes en espacios urbanizados al mismo ritmo, mediante la naturación de edificios. Sin por esto dejar de insistir en la creación de parques y áreas naturales.
- La tendencia constructiva actual en la ciudad se concentra en edificios verticales, por lo que el muro verde, toma ventaja potencial con respecto a la azotea verde para conseguir la mayor cantidad de envolventes orgánicas intercaladas en la ciudad.
- La naturación de envolventes se ha aplicado en edificios institucionales públicos y privados, y son muy pocos los ejemplos en vivienda particular debido a sus altos costos iniciales y de mantenimiento, por lo que sólo mediante la disposición de sistemas accesibles se podrán popularizar sus beneficios térmicos y ambientales.
- La geometría de algunos edificios deja fuera de posibilidad a edificios que no tienen cubiertas planas. Los sistemas actuales no son compatibles con geometrías complejas, arcotechos y techos de pendientes pronunciadas.

CAPÍTULO

3

ANTECEDENTES AMBIENTALES

MEDIO AMBIENTE Y ENVOLVENTES VERDES

ÍNDICE DEL CAPÍTULO 3

- 3.1. Territorio
- 3.2. Áreas verdes
- 3.3. Caracterización geológica
- 3.4. Morfología y fisiografía
- 3.5. Geohidrología
- 3.6. Vegetación
- 3.7. Fauna en la historia de la cuenca
- 3.8. Flora y fauna urbanas
- 3.9. Ciudad y agua
- 3.10. Calidad del aire en la Ciudad de México
 - 3.10.1. Contaminantes
 - 3.10.2. CO₂
 - 3.10.3. Inventario de GEI
 - 3.10.4. Monóxido de carbono
- 3.11. Derecho humano a un medio ambiente sano
- 3.12. Isla de calor
- 3.13. Plantas usadas para naturalar
- 3.14. Fauna nociva y mutualista
- 3.15. Beneficios que pueden aportar las envolventes verdes
 - 3.15.1. Oxígeno
 - 3.15.2. Ahorro verde
 - 3.15.3. Regeneración ambiental
- 3.16. Fauna funcional
- 3.17. Conclusiones

3.1. Territorio

El Distrito Federal cuenta con una superficie total de 149, 900 hectáreas, y está conformado por 16 Delegaciones Políticas. Se divide en: Suelo Urbano ocupando 61,458 ha. (41%); Suelo de Conservación ocupando 87,310 ha. (59%). Siete de sus Delegaciones con Suelo Urbano: Azcapotzalco, Benito Juárez, Coyoacán, Cuauhtémoc, Iztacalco, Miguel Hidalgo y Venustiano Carranza. Y nueve Delegaciones con Suelo de Conservación: Álvaro Obregón, Cuajimalpa, Gustavo A. Madero, Iztapalapa, Magdalena Contreras, Milpa Alta, Tlalpan, Tláhuac y Xochimilco. El Suelo de Conservación constituye el patrimonio natural del cual depende la sobrevivencia y bienestar de las generaciones futuras del Distrito Federal, ya que esta zona proporcionando bienes y servicios ambientales que permiten la viabilidad de la Ciudad, entre los que se encuentran: la captación e infiltración de agua al manto acuífero, la regulación del clima, el mejoramiento de la calidad del aire, hábitat para la biodiversidad, oportunidades para la educación, investigación y recreación, producción de alimentos y materias primas, entre otros (CORENA, 2010).

3.2. Áreas verdes

En entornos urbanos la ONU recomienda 16 m² de Áreas Verdes por habitante. La Organización Mundial de la Salud recomienda 9 m². En la Ciudad de México contamos con 8.4 m² por habitante (SMADF, 2010) considerando únicamente las áreas públicas.

En cantidad de áreas verdes, la Dirección General de Servicios Urbanos del D. F. reconoce 2,498 (Tabla 3.1).

Se han hecho evaluaciones recientes de la cantidad de áreas verdes por habitante en la Ciudad, donde se obtiene que considerando las áreas verdes privadas, hay 15.1 m² por habitante. El 20.4% del suelo urbano está cubierto por áreas verdes públicas y privadas, de esta superficie el 55.9% son zonas arboladas, el resto son zonas de pastos y/o arbustos (SMADF, 2010).

Este porcentaje global de áreas verdes para el D. F. varía de un 4.5% en Benito Juárez que es una delegación pequeña en superficie y de alta densidad urbana; hasta un 40.2 % de áreas verdes en Álvaro Obregón donde se ubican la mayor parte de las zonas de barranca en suelo urbano. Otras delegaciones con bajos porcentajes de superficie de áreas verdes son: Cuauhtémoc, Iztacalco, Tláhuac, Azcapotzalco, Magdalena Contreras, Venustiano Carranza e Iztapalapa, todas por debajo del promedio para el D. F. y muy por encima, están Coyoacán, Cuajimalpa, Tlalpan y Xochimilco (SMADF, 2010), (Tabla 3.2).

Número de áreas verdes públicas	
Nombre del territorio	Valor (área verde)
Azcapotzalco	155
Álvaron Obregón	121
Benito Juárez	112
Coyoacán	225
Cuajimalpa de Morelos	287
Cuauhtémoc	18
Gustavo A. Madero	275
Iztacalco	55
Iztapalapa	155
La Magdalena Contreras	35
Miguel Hidalgo	200
Milpa Alta	184
Tláhuac	121
Tlalpan	125
Venustiano Carranza	122
Xochimilco	308
Total (suma)	2,498

Tabla 3.1. Número de áreas verdes por delegación.
Fuente: (SMADF, 2010).

Áreas verdes por delegación

Delegación	Área km2 (*)	Total áreas verdes Km2	Áreas verdes % sup. Delegación	% Zonas arboladas	% Zonas de pastos y arbustos	Áreas verdes por habitante M2	Zonas arboladas por habitante M2	Población 2000 %
Álvaro Obregón	61.12	24.59	40.2	64.5	35.5	35.8	23.1	8.1
Azcapotzalco	33.51	4.28	12.8	54.7	45.3	9.7	5.3	5.2
Benito Juárez	26.51	1.19	4.5	99.0	1.0	3.3	3.3	4.2
Coyoacán	54.01	20.13	37.3	76.7	23.3	31.4	24.1	7.5
Cuajimalpa	15.08	5.55	36.8	46.4	53.6	36.7	17.0	1.8
Cuauhtémoc	32.67	1.81	5.5	74.0	26.0	3.5	2.6	6.1
G. A. Madero	87.29	14.26	16.3	47.3	52.7	11.5	5.4	14.5
Iztacalco	23.12	2.25	9.7	54.7	45.3	5.5	3.0	4.8
Iztapalapa	113.37	18.32	16.2	27.1	72.9	10.3	2.8	20.8
Magdalena Contreras	14.08	1.82	16.2	27.1	72.9	10.3	2.8	20.8
Miguel Hidalgo	47.69	8.89	18.6	57.3	42.7	25.2	5.7	2.6
Tláhuac	19.17	2.27	11.8	4.4	95.6	7.5	0.3	3.6
Tlalpan	48.29	11.80	24.4	88.9	11.1	20.3	18.0	6.8
Venustiano Carranza	33.87	5.23	15.4	23.5	76.5	11.3	2.7	5.4
Xochimilco	22.90	5.89	25.7	60.8	39.2	15.9	9.7	4.3
Distrito Federal	632.66	128.28	20.4	55.9	44.1	15.1	8.4	100
*Estas cifras de área no incluyen las delegaciones con Suelo de Conservación; salvo los casos de Gustavo A. Madero e Iztapalapa cuyo porcentaje de SC es poco significativo.								

Tabla 3.2. Áreas Verdes por Delegación.
Fuente: (SMADF, 2010).

A nivel delegacional se muestran fuertes contrastes: por ejemplo las delegaciones Benito Juárez, Tlalpan, Coyoacán y Cuauhtémoc presentan arriba del 74% de zonas arboladas; en cambio, Tláhuac sólo tiene un 4.4 % de arbolado, e Iztapalapa y Venustiano Carranza están por debajo del 28 % de superficies arboladas.

Las delegaciones Benito Juárez y Cuauhtémoc tienen superficies muy pequeñas, pero casi totalmente arboladas en zonas de alta densidad urbana; en cambio, la superficie de Tláhuac es el doble, pero sólo un 4.4 % es arbolado, y es una delegación de baja densidad urbana. Por otro lado, las delegaciones con mayor superficie de áreas verdes son en orden de importancia: Álvaro Obregón, Coyoacán, Iztapalapa, Gustavo A. Madero y Tlalpan, que suman casi el 70 % del total, y representan en conjunto el 58% de la población. Casi todas presentan muy altos o altos porcentajes de zonas arboladas, salvo el caso de Iztapalapa con sólo el 27 % de sus áreas verdes arboladas. En este caso, se percibe una situación negativa que afecta a un segmento muy importante de la población; debido a que Iztapalapa es una delegación de muy alta densidad urbana (comprende al 20% de la población del D.F. y al 18% del total del suelo urbano) y sólo incorpora al 7% de las zonas arboladas (SMADF, 2010) (Figura 3.1).

En estas cifras nos detenemos para hacer notar que son precisamente las áreas con predominancia de estructura urbana las que carecen de espacios verdes, y se hace más significativa esta valoración al considerar que una persona habita el espacio de trabajo, la casa, el barrio; es decir el enclave, no la ciudad en su promedio estadístico, por lo que las cifras muestran que la Ciudad tiene un porcentaje aceptable de áreas verdes, pero concentradas en manchones definidos, en pocas zonas de la ciudad, no siempre al alcance de los habitantes y muy escasa en las zonas más urbanizadas.

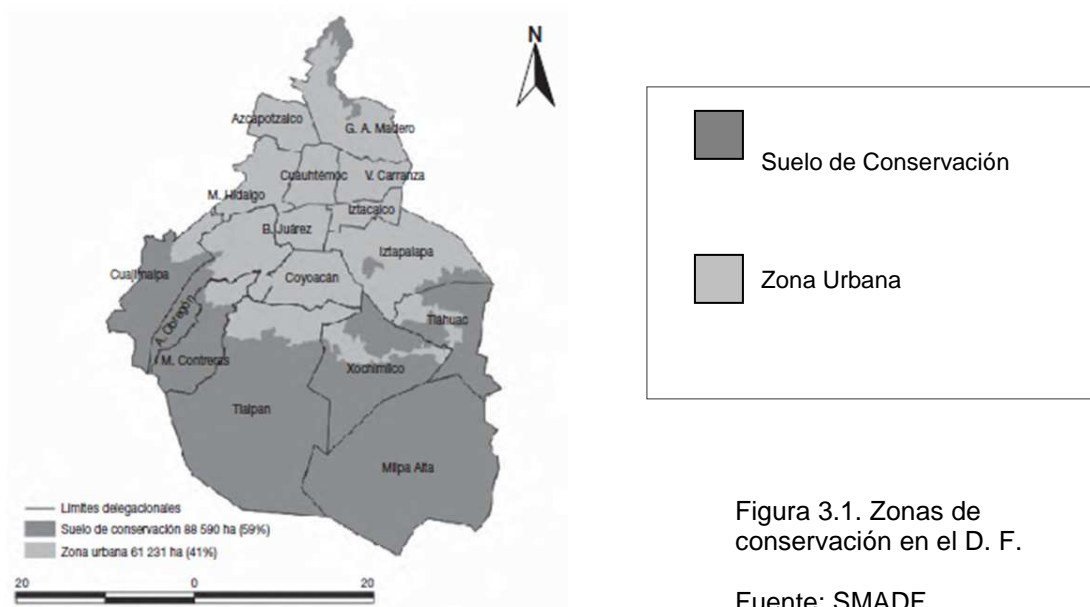


Figura 3.1. Zonas de conservación en el D. F.

Fuente: SMADF.
<http://www.sma.df.gob.mx/>

Fuente: Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal, en <<http://www.sma.df.gob.mx/sma/index.php?opcion=26&id=61>>.

La distribución de las áreas verdes está concentrada en la Zona Sur y Poniente de la Ciudad. Creemos que el problema de fondo además de la cantidad, es la ubicación de las áreas verdes y su presencia en la vida cotidiana de las personas. Tenemos por ejemplo la Delegación Cuajimalpa con 36.7 m²/hab, y las delegaciones Cuauhtémoc y Benito Juárez con 3.5 m²/hab y 3.3 m²/hab de áreas verdes respectivamente.

La cercanía o inclusión de las áreas verdes en las zonas más densamente pobladas y contaminadas de la ciudad, es lo que puede dar calidad ambiental a usuario cotidiano. Y es a esto a lo que contribuyen fuertemente las envolventes naturadas.

3.3. Caracterización Geológica

La Cuenca de México debe su formación a procesos de sedimentación, vulcanismo y tectonismo, que tuvieron lugar desde el Eoceno Superior¹¹, en los últimos 50 millones de años (Tabla 3.3).

Eoceno			
Era	Período	Época	M. años
Cenozoico	Cuaternario	Holoceno	0,011784
		Pleistoceno	2,588
	Neógeno	Plioceno	5,332
		Mioceno	23,03
	Paleógeno	Oligoceno	33,9 ± 0,1
		Eoceno	55,8 ± 0,2
		Paleoceno	65,5 ± 0,3

Tabla 3.3. Época, periodo y era en la formación de la cuenca del Valle de México.
Fuente: <http://es.wikipedia.org/wiki/Eoceno>

Previo al Eoceno, la zona de la Cuenca, estuvo inundada por mares tropicales someros. A principios del Terciario, éstos se retiraron al plegarse los sedimentos calizos y levantarse paulatinamente el continente. Al retiro de los mares siguió el comienzo del vulcanismo que produjo espesores de 2 km y más de lava, tobas y brechas. El levantamiento , combinado con hundimientos, dieron lugar a la formación de la Faja Volcánica Transmexicana, que atraviesa al país de poniente a oriente, formando la región más elevada y fértil del país.

¹¹ Ésta es una época geológica de la Tierra, la segunda del período Paleógeno en la Era Cenozoica. Comprende el tiempo entre el final del Paleoceno (hace 55,8 ± 0,2 millones de años) y el principio del Oligoceno (hace 33,9 ± 0,1 millones de años). Durante esta época se formaron algunas de las cordilleras más importantes del mundo, como los Alpes o el Himalaya, y acontecieron varios cambios climáticos importantes como el máximo térmico del Paleoceno-Eoceno, que aumentó la temperatura del planeta y delimita el inicio de esta época geológica, el evento Azolla, un enfriamiento global que daría paso a las primeras glaciaciones, o eventos de extinción masiva como la Grande Coupure, que marca el fin del Eoceno. Como en muchos otros períodos geológicos, los estratos que delimitan este período están bien identificados, aunque no han podido ser datados con total precisión.

3.4. Morfología y Fisiografía

La Cuenca de México está situada en el borde sur de la Mesa Central, entre los meridianos 98°15' y 99°30' y los paralelos 19°00' y 20°15'. Su contorno irregular cubre un área de unos 9,600 km², y se desarrolla longitudinalmente de sur a norte, desde Xochimilco, hasta las regiones semiáridas de Pachuca (Figura 3. 2). Mide unos 110 km en su eje mayor. Extiende su eje menor aproximadamente 80 km desde los bosques de la Sierra de las Cruces en el oeste, hasta las simas nevadas del Iztaccíhuatl al este. La gran planicie central se encuentra totalmente rodeada de montañas, con las más elevadas en su borde sur. Tiene una altitud que va de los 2,240 msnm en el sur a los 2,390 msnm en el norte. Esta cuenca endorreica contiene lagos someros, de los cuales el mayor fue el de Texcoco, que también tenía el de nivel más profundo y se situaba al centro de los otros. Hubo cinco lagos en total, el de Zumpango y Xaltocan al noreste, el de Chalco en el sur, que dejó de existir a principios de siglo XX (DDF, 1975).

Delimitación de la Zona Metropolitana del Valle de México

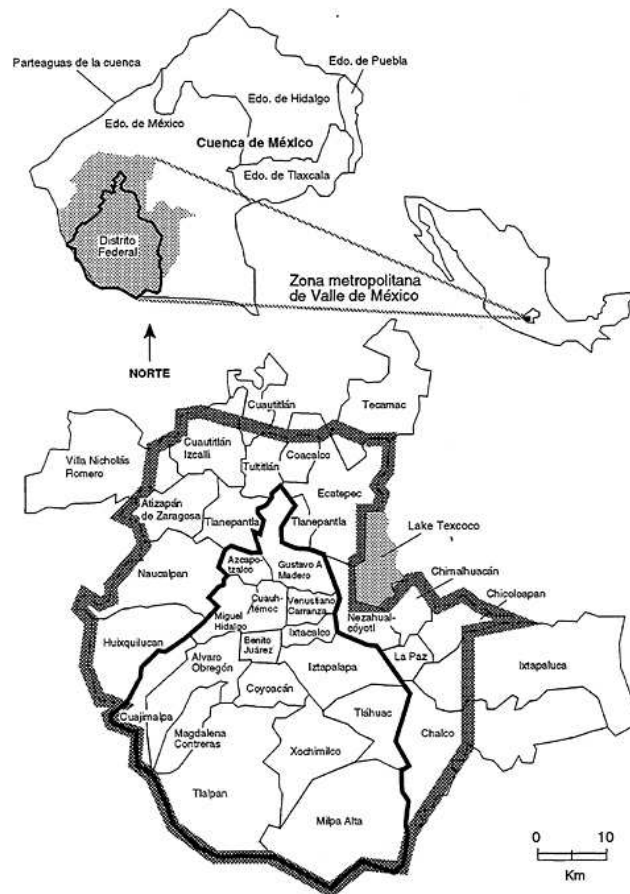


Figura 3.2. Límite aproximado de la ZMVM. Se indica con línea gruesa la Zona. La punteada muestra la localización de la ZMVM en la Cuenca de México y los límites de otros estados—México, Hidalgo, Tlaxcala y Puebla—que el valle abarca parcialmente. Fuente: (NAP, 1995).

3.5. Geohidrología

La Cuenca de México es endorreica, contenida por lavas y tobas¹² jóvenes, que delimitan dos fondos de lago que ahora llamados valles, con un pronunciado relieve al sur, donde hay indicios de que su fondo estuvo en los 1,700 msnm, 800 m por debajo de la planicie lacustre de Xochimilco (DDF, 1975).

Las márgenes de los antiguos lagos se delimitan al oeste por los complejos lávicos de la Sierra de las Cruces; al este por la base del Popocatepetl y el Iztaccíhuatl; al norte por la Sierra de Tezontlalpan y Sierra de las Pitayas; al sur por la Sierra del Chichinautzin. De igual manera, al norte la cuenca presenta fracturas que causan un descenso del nivel freático a partir de Zumpango y otro a partir de Huehuetoca. Aunque la cuenca no tiene salida exterior en forma de caudales, sus materiales no son impermeables, por lo que las filtraciones a través de sus lavas, contribuyeron, y contribuyen aún al gran caudal de aguas que afloran al sur de Cuautla y Cuernavaca (DDF, 1975).

El ciclo hidrológico antes de las obras del tajo de Nochistongo y Tequisquiac, y antes del crecimiento vertiginoso de la Ciudad, era simple: lo que llovía en las sierras o se concentraba por escorrentías se acumulaba en las planicies lacustres. Antes de la irrupción española, los lagos medías unos 600 Km² (DDF, 1975).

Aun cuando la configuración geohidrológica original de la Cuenca se modificó drásticamente, su estructura geográfica y sistemas de infiltraciones, manantiales y escurrimientos se conservan activos. A esto se debe que las tormentas presentadas al norte, donde los suelos son abanicos volcánicos de tobas y tepetates, las aguas no logran infiltrarse, generando grandes escurrimientos que hasta nuestros días han provocado inundaciones incontrolables. En contraste al sur, en la Sierra Chichinautzin, sus malpaíses¹³ geológicamente jóvenes hacen suelos sumamente permeables que ante la presencia de lluvias copiosas infiltran de manera efectivísima el agua y generando escasos escurrimientos. (DDF, 1975).

México cuenta con zonas áridas y semiáridas que abarcan alrededor del 50% de su territorio. En cuanto a la disponibilidad de agua para uso humano la Comisión Nacional del Agua divide al país en dos grandes zonas de disponibilidad: el sureste, y por otro lado el norte, centro y noroeste del país. La disponibilidad natural en el sureste es siete veces mayor que en el resto del país. También es necesario considerar que en el norte y centro se asienta aproximadamente el 75% de la población del país y se genera aproximadamente el 85% de Producto Interno Bruto (PIB), con un disponibilidad natural media de 30% (CNA, 2008).

3.6. Vegetación

Ezcurra (1990) resalta los exhaustivos trabajos que realizó Rzedowski respecto de la vegetación en la Cuenca de México, que agrupó en diez principales tipos:

¹² Es un tipo de roca ligera, de consistencia porosa, formada por la acumulación de cenizas u otros elementos volcánicos muy pequeños expelidos por los respiraderos durante una erupción volcánica.

¹³ Es un tipo de paisaje formado por cárcavas, barrancos y cerros arcillosos resultado de un proceso de erosión sobre materiales detríticos

- 1) *Bosque de oyamel*. Los oyameles forman bosques densos entre los 2 700 y los 3 500 m de altitud.
- 2) *Bosque mesófilo de montaña*. Forma una comunidad rara en la cuenca de México que ocupa no más de 2 km² entre los 2,500 y los 3,000 m de altitud.
- 3) *Bosque de pinos*. Los pinares forman comunidades vegetales típicas de las montañas que rodean la cuenca de México, sobre todo en su parte meridional. En general crecen entre los 2,350 y los 4,000 m de altitud,
- 4) *Bosque de encinos*. Los bosques de encinos (*Quercus* spp.) son formaciones comunes en la cuenca de México entre los 2,300, y los 3,000 m. Actualmente ha desaparecido casi totalmente por el avance de los fraccionamientos urbanos.
- 5) *Bosque de enebros*. Los enebros o juníperos (*Juniperus* spp.) son arbustos o árboles de poca altura (menos de 6 m). Son comunes en las partes norte, este y noreste de la cuenca, entre los 2,400 y los 2,800 m de altitud.
- 6) *Matorral de encinos chaparros*. Se encuentran sobre todo al noreste de la cuenca, en áreas semiáridas con 700 a 900 mm de lluvia anual media.
- 7) *Pastizales*. La formación más importante son los pastizales de *Hilaria cenchroides*, comunes al noroeste de la cuenca en Huehuetoca y Tepozotlán, y que también se pueden observar al pie de la Sierra Nevada. Esta comunidad prospera en laderas y lomeríos entre 2,300 y 2,700 m de altitud, con precipitaciones anuales cercanas a 600 y 700 mm.
- 8) *Matorrales xerófilos*. Los matorrales xerófilos son frecuentes en la parte norte de la cuenca, donde las precipitaciones son más pobres, pero también ocurren en la parte meridional, sobre afloramientos rocosos y pedregales. En general ocupan partes bajas de la cuenca, entre 2 250 y 2 700 m de altitud, en áreas de precipitación media anual inferior a los 700 mm.
La asociación vegetal más extensa dentro de este tipo de vegetación la forman las nopaleras del norte de la cuenca, en las que domina el nopal (*Opuntia streptacantha*), la uña de gato (*Mimosa biuncifera*), la palma (*Yucca filifera*) y la cenicilla (*Zaluzania augusta*). En algunas laderas del norte de la cuenca prospera el matorral de guapilla (*Hechtia podantha*) en el que dominan plantas con hojas en roseta, como la misma guapilla y la lechuguilla (*Agave lechuguilla*), junto con arbustos deciduos como la sangre de drago (*Jatropha dioica*) y la uña de gato (*Mimosa*, sp).
- En la Sierra de Guadalupe y el Pedregal de San Ángel se conservan importantes grupos de vegetación xerófila en constante situación de vulnerabilidad, así como encinares presentes en los bosques de Tlalpan.
- 9) *Vegetación halófila*. La vegetación halófila domina actualmente en algunas de las partes más bajas de la cuenca, sobre los lechos de los antiguos lagos. Es particularmente común en el lecho seco del antiguo Lago de Texcoco. La vegetación salina se encuentra en parte amenazada por el crecimiento urbano.
- 10) *Vegetación acuática*. Las plantas acuáticas ocupaban antiguamente inmensas extensiones de la cuenca de México; el secado de los lagos ha reducido su extensión a una fracción pequeñísima. La poca vegetación acuática que todavía puede verse en la cuenca de México se encuentra en el Vaso de Texcoco, en el Lago de Zumpango, en las chinampas de Xochimilco, y en las partes más bajas de lo que era el Lago de Chalco. En Texcoco y Zumpango pueden observarse tulares. Estas especies eran antiguamente muy utilizadas en la cuenca para la extracción de

fibras, que se usaban en construcción, techados y fabricación de sillas. Las ciperáceas y los juncos, junto con varias otras especies herbáceas, formaban extensas comunidades de menor altura que los tulares. Finalmente, las lentejillas de agua (*Lemna* pp. y *Azolla* spp.) formaban comunidades flotantes en las partes en que los espejos de agua estaban más tranquilos. Actualmente, los pocos cuerpos de agua libre que se encuentran en la cuenca han sido invadidos por una especie introducida de Sudamérica, el huachinango o lirio de agua (*Eichhornia crassipes*), que se propaga vegetativamente en una forma extraordinaria y llega a cubrir totalmente los cuerpos de agua, modificando sus condiciones de aireación e iluminación, y produciendo serios trastornos sobre los ciclos de vida de la flora y fauna nativas (Ezcurra, 1990).

3.7. Fauna en la historia de la cuenca

Ezcurra (1990) cita a Halffter y Reyes-Castillo quienes determinan que la fauna de la Cuenca de México ha sufrido profundas transformaciones por la acción humana, tal vez mayores a las experimentadas por la vegetación. Estas transformaciones han sido no sólo producto de la moderna expansión, urbana, con los fenómenos asociados de degradación del hábitat y contaminación, sino que empezaron a generarse desde la llegada del hombre cazador al Continente Americano. Ceballos y Galindo (1984), describieron la existencia de 87 especies de mamíferos registrados durante los últimos años, muchos de ellos presentes en densidades realmente bajas e identificados a través de evidencias indirectas, como huellas, excrementos, u observaciones de terceros (Tabla 3.4).

Fauna registrada en 1984 por Ceballos y Galindo (1984)	
<i>Orden</i>	<i>Número de especies</i>
Marsupiales (tlacuaches)	1
Insectívoros (musarañas)	5
Quirópteros (murcielagos)	26
Edentados (armadillos)	1
Lagomorfos (conejos y liebres)	6
Roedores (ardillas, tuzas y ratones)	35
Carnívoros	12
Ungulados (venados)	1

Tabla 3.4. Especies animales en el D. F. registradas en 1984.
Fuente: (Ceballos y Galindo, 1984).

En 1984 se registraron presentes en la cuenca:

Tlacuache, armadillo, conejo común, conejo teporingo, ardilla, tuza, musaraña, liebre, puma, ocelote, lince, coyote, mapache, zorra gris, cacomixtle, zorrillo, comadreja, tlalcoyote, venado cola blanca y venado bura. Todos estos animales en tierra firme.

El área hoy ocupada por la Ciudad y que fue parte del espejo de agua de los lagos se encontraba una rica fauna de aves, reptiles, anfibios, peces e invertebrados acuáticos. Las aves acuáticas que se encontraban en la cuenca y las que se encuentran todavía en el Vaso de Texcoco y otros espejos de agua son mayoritariamente migratorias, y utilizan los grandes lagos del altiplano mexicano como sitio de refugio invernal (noviembre a marzo). Se Este grupo incluía 22 especies de patos, gansos y cisnes, 3 especies de pelícanos y cormoranes, 10 especies de garzas y cigüeñas, 4 especies de macáes, 19 especies de chorlos y chichicuilotos y 9 especies de grullas, gallaretas y gallinetas de agua. Los patos silvestres o canauhtli (8 especies en la cuenca) y los gansos o concanauhtli, eran los animales más buscados por los cazadores Ezcurra (1990).

Dentro de los reptiles y anfibios del lago de México, existieron gran cantidad de ranas, sapos, axolotes, serpientes de agua, tortugas. Los axolotes eran los más buscados por los mexicas por su refinado paladar, y se encuentran aún en Xochimilco, aunque en peligro de extinción.

Los lagos eran también ricos en peces de agua dulce, básicos en la dieta prehispánica.

3.8. Flora y Fauna Urbanas

La riqueza en flora y fauna que aún se conserva en la ZMVM, y la correspondiente a la Ciudad de México, se encuentra ubicada en las reservas naturales y bosques urbanos. Como se ha mencionado, históricamente el paisaje y la estructura ecológica de la zona central del Distrito Federal es un lecho de lago drenado donde existía una gran diversidad de especies acuáticas, y otras de aves que dependían del cuerpo acuífero para establecerse permanentemente o por temporadas migratorias. De igual manera, los recursos biológicos generados a partir de los lagos daban soporte a una larga cadena de vida en la cuenca y aún fuera de sus límites reconocidos. Se tiene en la actualidad un inventario de la flora urbana en las áreas verdes públicas iniciado por la Dra. Alicia Chacalo Hilú de la UAM Azcapotzalco, continuado en la publicación de un catálogo de las 70 especies de árboles y arbustos más presentes en la Ciudad de México (Rodríguez, 2003). Asimismo la **NADF-006-RNAT-2004**, establece las 217 “especies preferentes” entre árboles arbustos y plantas a ser establecidos en la ciudad de México.

Actualmente las características ambientales de la zona urbana del Distrito Federal, está restringida a mamíferos adaptados a las condiciones de la ciudad como perros, gatos, ardillas, murciélagos, ratas y ratones; Insectos, aves y pequeños reptiles. De los anteriores, las aves forman el grupo más amplio de animales, que además mantienen actualmente mayores funciones e intercambio con la vegetación y un medio más amplio. Igualmente los

insectos que participan en la polinización e intercambio de información genética entre la vegetación.

3.9. Ciudad y agua

3.9.1. Devenir histórico

Krieger (2007) menciona que desde el inicio de la dominación española se vio en el agua un enemigo a vencer para el establecimiento de la nueva ciudad. Inaugurando con las obras del drenaje de la cuenca, el origen de la gran transformación sufrida hasta el día de hoy convirtiéndola en un desierto urbano en donde las zonas verdes han sido reducidas al mínimo.

La dificultad para hacer llegar agua apta para el consumo humano a la ciudad de México ha sido una condición dada desde su período fundacional. La ciudad de Tenochtitlan, a pesar de estar rodeada por agua, tenía que importarla de poblados en tierra firme, pues en los lagos había gran cantidad de sales disueltas que no permitían beberla. Motecuhzoma Ilhuicamina¹⁴ mandó construir un acueducto para conducir agua de Chapultepec a la ciudad de Tenochtitlan. Posteriormente el agua también se hizo llegar de Coyoacán.

Los megaproyectos hidráulicos para la Ciudad, empezaron en 1942 con las obras del Sistema Lerma, que han desecado las tierras en la zona inicial del río Lerma, para abastecer de agua a la ZMVM. En 1953 se crea la Dirección General de Obras Hidráulicas en el Departamento del Distrito Federal, entidad que se encargaría de realizar las obras hidráulicas para evitar las inundaciones. Tan solo entre 1953 y 1964 se construyeron 195 km de redes de agua potable y se entubaron 80 km de ríos y canales (DGCOH, 1985). Con estas obras se acrecentó el rompimiento del ciclo hidrológico que impide la infiltración y la recarga de los acuíferos al entubar el agua proveniente de la lluvia, con consecuencias en el hundimiento de la ciudad, como producto del desecamiento de las antiguas zonas pantanosas cuyas arcillas se contraen al perder el agua (CNA, 2008).

El territorio antes ocupado por el sistema lacustre, está hoy cubierto por la mancha urbana de la ZMCM, que alberga el 20% de la población del país en solo 0.07% del territorio nacional.

3.9.2. ¿De dónde viene el agua?

El agua que usamos en la Ciudad proviene de su propio subsuelo (agua subterránea) en un 67%; solo un 3% proviene de escurrimientos superficiales y el restante 30% proviene del sistema de agua subterránea de Lerma y del sistema de agua superficial del Cutzamala.

Importar agua de estas cuencas externas implica un alto costo de energía para bombearla de la vertiente del Pacífico, utilizarlo en la ZMCM y desechar las aguas residuales (negras) hacia la vertiente del Golfo de México a través del sistema fluvial Tula-Moctezuma-Pánuco.

¹⁴ Gobernante mexica de 1440 a 1469.

3.9.3. Consumo

En el Distrito Federal la dotación media de agua reportada es de 351 L/hab/día distribuido (Perló y González, 2005).

Una vez utilizada la ciudad se vierte como agua residual (o aguas negras) por cuatro sistemas de drenaje hacia el norte, mismos que fluyen a través del estado de Hidalgo y Veracruz, vertiendo finalmente al Golfo de México. A su paso por diversas zonas es utilizada para riego sin previo tratamiento.

3.9.4. Crisis del agua en la Ciudad de México

La escasez del agua en la Ciudad, es un problema urbano que se ha ido acumulando desde la década de los 40, en que comenzó un crecimiento vertiginoso de la población (Tabla 3.5), hasta llegar a este momento en que forma parte de la Zona Metropolitana del Valle de México¹⁵ (ZMVM), que de acuerdo al conteo poblacional (INEGI, 2005) concentra una población de 19,239,910 habitantes en casi 7,854 Km², con una densidad de población de 2,450 habitantes por Km². Seguida por el Estado de México con 627 hab/ Km², mientras la nacional es de 53 hab/ Km². También en esta zona se concentra la mayor actividad industrial y económica del país.

Crecimiento de las áreas urbanas

Año	Superficie (km ²)	Población (miles)	Densidad (hab/ Km ²)
1600	5.5	58	10 584
1700	6.6	105	15 885
1800	10.8	137	12 732
1845	14.1	240	16 985
1900	27.5	541	19 673
1910	40.1	721	17 980
1921	46.4	906	19 534
1930	86.1	1 230	14 287
1940	117.5	1 760	14 974
1953	240.6	3 480	14 464
1980	980.0	13 800	14 082
2005(*)	7,854.0	19 240	2 450

*Valor actualizado en base a INEGI (2005).

Tabla 3.5. Evolución de las áreas urbanas y la densidad poblacional en la Ciudad de México y su conurbación desde 1600 hasta 1986. (Fuente: DDF, 1986).

¹⁵ El INEGI define a la ZMVM como la región conformada por las 16 delegaciones del D. F. y 60 municipios del Estado de México y de Hidalgo.

La demanda de agua en esta megalópolis (segunda en tamaño en el mundo) es de 2,922 hm³ al año, que representa una extracción *per cápita* media anual de 151.8 m³; 72.5 m³/s, equivalente a 6 veces el Estadio Azteca por día. Cantidades a las que debemos agregar los 25 m³/s que se desperdician por fugas, equivalentes al 35% del total (Montero, 2009).

Esta problemática ha llevado al GDF a implementar el *Programa Emergente de Abasto de Agua en el D. F.* que racionaliza el agua para las colonias que tiene abasto, aunque hay otras que no lo tienen.

3.9.5. Subsistencia¹⁶

En 1950 Nabor Carrillo demostró que la principal causa de la subsidencia en la Ciudad de México es la extracción de agua del subsuelo por medio de pozos. Aunque en ese momento el fenómeno tenía ya casi 50 años de avance. El fenómeno inició a fines del siglo XIX y fue descubierto casualmente como resultado de un supuesto mal diseño de la pendiente de la puerta de San Lázaro en el canal principal de aguas residuales de la Ciudad.

La extracción de agua subterránea, principalmente de la zona centro de la Ciudad se inició a principios del Siglo XX, del acuífero regional aluvial – piroclástico, que se encuentra bajo el material lacustre. Se ha provocado con esto una continua despresurización y consolidación del acuitardo¹⁷ incluido en ese material. Esto trajo como resultado una extensiva subsidencia del suelo de la ciudad, que en algunas zonas de la Ciudad alcanza niveles de hasta 9 metros, por lo que se han manifestado fallas estructurales en las construcciones, drenajes y sistemas de abastecimiento (Táutiva, 2000). De igual manera, a causa de los hundimientos de terreno se han agravado los problemas de inundaciones, que como hemos atestiguado, parecen actualmente incontenibles (Figura 3.3).

¹⁶ En geología e ingeniería el término refiere el movimiento de una superficie (usualmente, la superficie de la Tierra) hacia abajo respecto al nivel del mar.

¹⁷ Los acuitardos son formaciones geológicas semipermeables que, conteniendo agua en gran cantidad, la transmiten muy lentamente, por lo que en estas formaciones tampoco resulta adecuado emplazar captaciones; no obstante, en determinados casos, la presencia de un acuitardo puede proporcionar a un acuífero que esté en contacto con él, una recarga vertical que puede llegar a ser importante.

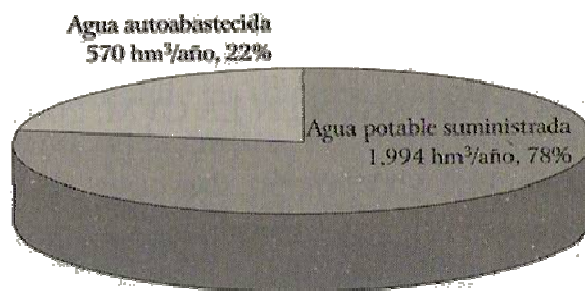


Figura 3.3. Hundimiento en la Colonia Nápoles, D. F., 14 de mayo de 2009.
Fotografía: Diario El Universal.

3.9.6. Abasto de agua

El abasto del agua en la Ciudad no es homogéneo, mostrándose más carencia en la zona oriente. En las zonas donde se cuenta con abasto regular de agua, el Gobierno del D. F. dosifica su disposición mediante el Plan Emergente de Abasto de Agua en el D. F. que opera a través del Sistema de Aguas de la Ciudad de México. Por lo que se hace presente una insatisfacción cada vez más aguda de los pobladores de la ciudad por la disposición del recurso, acompañada de una cultura de la racionalización obligada por la situación (SEMARNAT y CNA, 2008).

Existe otra modalidad de adquisición del agua, que es la autoabastecida, en la que los usuarios llevan a cabo su propia extracción. Según el Registro Público de Derechos del Agua (Repda) se han otorgado derechos para la extracción directa por 570 hm³ (Montero, 2009) (Gráfica 3.1).



Gráfica 3.1. Abasto de agua en el D. F.
Fuente: (Montero, 2009).

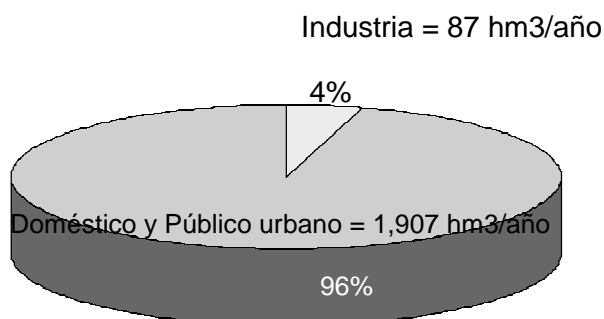
Una vez utilizada, se vierte como agua residual o aguas negras, por cuatro sistemas de drenaje hacia el norte, mismos que fluyen a través del estado de Hidalgo y Veracruz, vertiendo finalmente al Golfo de México. A su paso por diversas zonas es utilizada para riego

sin previo tratamiento. Además vertimos aguas residuales, con una calidad totalmente diferente a la que ingresa a la ciudad, de la cual sólo se trata aproximadamente el 10% (SEMARNAT y CNA, 2008).

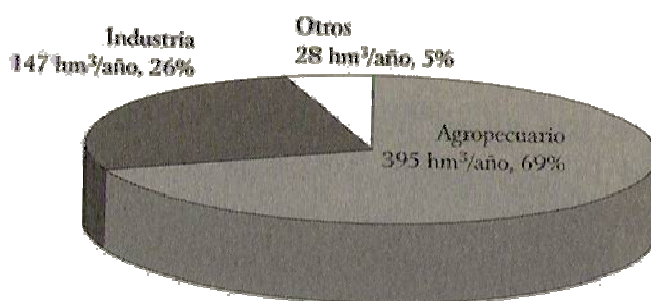
3.9.7. Usos

El agua de primer uso o potable que se abastece a través de la red pública, se destina en un 96% para el uso doméstico, y público urbano; el otro 4% lo consume la actividad industrial (Gráfica 3.2).

El agua de primer uso en la modalidad autoabastecida, tiene un uso agropecuario en un 69%, industrial 26%, otros no especificados con 5% (Gráfica 3.3).



Gráfica 3.2. Uso del agua abastecida por la red.
Fuente: (Montero, 2009).



Gráfica 3.3. Uso del agua autoabastecida.
Fuente: (Montero, 2009).

3.9.8. Agua y vegetación urbana

En zonas urbanas y sus alrededores se deben conservar y mantener las áreas verdes ya que propician la infiltración de agua, fomentan su recarga y al filtrarse a través del suelo mejoran su calidad; propician la humidificación de los microclimas, contribuyen al control del ruido urbano, regulan variaciones en la composición atmosférica, mejoran la calidad del agua de las regiones, aportan beneficios psicológicos, ayudan a la conservación de la vida animal.

Uno de los principales obstáculos que enfrenta la vegetación urbana es su mantenimiento y particularmente el riego, sin el cuál la vegetación se vuelve disfuncional o muere.

Como hemos visto anteriormente, para el caso de nuestra ciudad existe una contraposición entre la generación y conservación de áreas verdes urbanas y el consumo de agua que éstas demandarán. El uso de agua tratada en este momento no es significativo. Del total del agua abastecida por la red, se trata sólo el 12%, y de este porcentaje, únicamente el 31% tiene reuso. Lo que significa que sólo el 3.72%, es agua tratada que tiene un segundo uso, y es repartida a su vez en agricultura, industria y otros servicios (Montero, 2009). Por lo que a nuestras áreas verdes les queda poca cantidad y dirigida al espacio público.

El sector Doméstico y Público urbano de la Ciudad consumen el 96% del total abastecido por la red general.

Las áreas verdes privadas se riegan en consecuencia con agua potable, usando el líquido que falta al consumo humano.

3.9.9. Estrategias a seguir

Una estrategia para resolver la contradicción entre la escasez del agua y la necesidad de incrementar la cantidad de áreas verdes en la ciudad es la utilización de plantas de bajo consumo hídrico y el conocimiento detallado de sus necesidades en relación a RFA, pues una planta sobreexpuesta puede demandar más riego del necesario en compensación.

La planta adecuada para una envolvente verde en un sitio es, como casi todo en el proyecto bioclimático, la que responda a sus condiciones particulares, que por lo general son las especies nativas.

Otro aspecto importante que se relaciona al balance entre vegetación y agua es la aportación que tiene o que deberá tener forzosamente la captación de agua pluvial, que en este momento es despreciable en cantidad y que podrá aportar suficiente agua tanto a la vegetación como al uso humano y se ve a futuro como una de las únicas vías que ayuden a resolver la disposición del líquido. Aunque es un tema con enormes dificultades técnicas, económicas y espaciales. Al respecto, la propuesta desarrollada por el Ingeniero Gerardo Cruikshank García dentro de el *Plan de Manejo Sustentable de la Ciudad de México*, concluye que debido a la falta de espacios libres en la ciudad la captación debe darse a nivel de las habitaciones particulares y con financiamientos aportados por los gobiernos en todos

sus órdenes, y que con el tiempo el mismo gobierno reduciría su gasto en subsidios en la medida que el usuario doméstico participe de la *Cosecha de la Lluvia*. (Montero, 2009)

3.10. Calidad del aire en la Ciudad de México

Los seres humanos están expuestos a la contaminación del aire tanto en exteriores como en interiores. En exteriores la contaminación es generada por una gran variedad de fuentes asociadas a las actividades humanas diarias y, en menor medida, a fuentes naturales. En interiores la exposición es provocada por una mezcla de los contaminantes que penetran desde el exterior y los que se generan en el interior.

Se atribuyen a la contaminación del aire diversos efectos a la salud, como problemas respiratorios, cardíacos, vasculares y neurológicos, los cuales pueden conducir a la mortalidad. Aunque existe poca documentación, la contaminación del aire puede agravar los casos de asma y de otras afectaciones respiratorias. Estos efectos se consideran como agudos porque están asociados a exposiciones de corto plazo a los contaminantes. Además, un número de contaminantes no regulados en México tienen el potencial de ser carcinogénicos (CDHDF [2], 2008).

Además de los efectos en la salud, la contaminación afecta también a los ecosistemas tanto en su forma como en su función. Más aún, debido a que los ecosistemas proveen a la sociedad servicios valiosos, cualquier daño derivado de la contaminación del aire puede ocasionar un daño económico y ambiental significativo.

De igual manera, algunos contaminantes del aire, como los sulfatos y los ácidos pueden acelerar el desgaste de los materiales empleados en la infraestructura urbana (metales, piedra, concreto y pintura), lo que afecta las viviendas, los sitios de trabajo y la salud de los habitantes. Producen un daño irreparable en obras de arte y monumentos y edificios con valor patrimonial.

En la ZMVM, la medición de la Calidad del Aire es un programa sustantivo y permanente que se ha implementado a partir de varios instrumentos institucionales, que tienen su origen en los años 80, con el reconocimiento de la agudización del problema, y la puesta en operación de programas oficiales a partir de 1990, en que se acordó la instrumentación del Programa Integral contra la Contaminación Atmosférica en el Valle de México [PICCA]. Posteriormente, se desarrollaron programas para mejorar la calidad del aire (llamados Proaires) en las principales ciudades del país: ZMVM, zonas metropolitanas de Guadalajara, Monterrey y Valle de Toluca, Ciudad Juárez, Mexicali y Tijuana-Rosarito (SEMARNAT, 2005).

Los Proaires incorporan medidas para el abatimiento y control de las emisiones de contaminantes y se fundamentan en la relación existente entre la emisión de los contaminantes por las fuentes que los producen y el impacto que ocasionan en la calidad del aire y en la salud de la población. De todos los Proaires publicados, tan sólo el de la ZMVM se ha actualizado para dar continuidad a las metas establecidas. Es operado en la actualidad por la SEMARNAT (SEMARNAT, 2005).

3.10.1. Contaminantes

El Índice Metropolitano de la Calidad del Aire, mejor conocido como IMECA, sirve para establecer la calidad del aire, si es buena o representa un riesgo para la salud. Se construye de acuerdo con la **NADF-009-AIRE-2006** (2006), que establece los requisitos y procedimientos para adquirir y presentar los datos ambientales.

El IMECA considera contaminantes como: ozono (O_3), partículas menores a diez micrómetros (PM_{10}), dióxido de azufre (SO_2), dióxido de nitrógeno (NO_2) y monóxido de carbono (CO). Generando registros de información directa en la página electrónica del SIMAT y registros anuales. Las concentraciones de los contaminantes criterio O_3 , NO_2 , SO_2 y CO se expresarán en partes por millón (ppm), mientras que las concentraciones de PM_{10} y $PM_{2.5}$ se expresarán en microgramos por metro cúbico ($\mu g/m^3$).

3.10.2. CO_2

Este gas está presente en la atmósfera como un producto de fuentes antropogénicas y naturales. Naturalmente, se libera en los océanos, por descomposición orgánica, por erupciones, metabolismo humano y animal, metabolismo vegetal o incendios. De manera antropogénica por la combustión de hidrocarburos, de la que depende en fuerte medida la vida cotidiana. El CO_2 tiene mecanismos naturales de eliminación. El mayor de ellos se da en los océanos al ser altamente soluble a este tipo de aguas; otro es la vegetación, y existe otro mecanismo de depuración que no se tiene del todo identificado en la atmósfera, pero se sabe que se da por intercambio de manera muy lenta. La gran eliminación que se da en los océanos mantiene la tasa de permanencia en la atmósfera en un promedio de 2.5 años, pero se reconoce un tiempo promedio de residencia en la atmósfera a nivel global de 2 a 4 años. El nivel global de concentración de dióxido de carbono en la atmósfera que se estima en la actualidad es de 320 ppm. Químicamente el dióxido de carbono no se considera un contaminante, sin embargo, debido a que su concentración en el ambiente ha manifestado un constante incremento y su tasa de permanencia en la atmósfera es de 2 a 4 años, se ha considerado junto con el vapor de agua producto de la combustión, un contaminante por su relación con el incremento de temperatura en las regiones, fenómeno conocido como *Calentamiento Global*. (Wark y Warner, 2007).

El monóxido de carbono guarda relación con el dióxido de carbono. A pesar de que se reconoce que el CO tiene una tasa de conversión en la atmósfera a CO_2 , se menciona que la velocidad en que esto sucede es muy lenta e incierta, tanto que no se tiene identificado cómo es que se da este proceso y menos aún su cuantificación en cantidad y tiempo.

La fuerte aportación que hace la vegetación en referencia a los gases contaminantes de la atmósfera es como reactivo de eliminación - control del vapor de agua y CO_2 producidos por la combustión. Cuando la atmósfera tiene una baja concentración de dióxido de carbono y vapor de agua la cantidad de energía solar que entra es aproximadamente igual a la energía terrestre que sale. Con el incremento en la saturación de estos gases aumenta la absorción atmosférica en la zona infrarroja, mientras que la transmisión de radiación de onda corta no sufre cambio. Con esta capa de gases la radiación de onda larga es retenida.

El CO₂ de la atmósfera se intercambia en la vegetación a través de la fotosíntesis, proceso mediante el cuál las plantas devuelven a la atmósfera oxígeno.

Manejar y proteger los bosques, así como sembrar árboles nuevos, reduce los niveles de CO₂, ya que éstos almacenan carbono en sus raíces y troncos, y devuelven oxígeno a la atmósfera (UFA, 2010).

De acuerdo con Wark y Warner (2007) algunos de los principales contaminantes atmosféricos y sus fuentes primarias son:

- Bióxido de carbono: Combustión de petróleo, carbón y gas natural para la producción de energía. Destrucción y quema de los bosques.
- Monóxido de carbono: Combustión de petróleo, carbón y gas natural para la producción de energía.
- Bióxido de azufre: Combustión de carbón para generar electricidad.
- Fluoruro de hidrógeno y tetrafluoruro de silicón: Producción de fertilizantes de aluminio y fosfato, refinerías de petróleo y la manufactura de acero.
- Ozono: Reacciones de la luz solar en los escapes de gas de los automóviles. El ozono es un contaminante principal en el smog.
- Metano: Quema de combustibles fósiles, desperdicios de granjas, basureros y producción de arroz.
- Oxidos nitrosos: quema de combustibles fósiles y escapes de los automóviles.
- Clorofluorocarbonos: Acondicionadores de aire, refrigeradores, espumas industriales.

Los químicos que se encuentran presentes en la atmósfera, considerados contaminantes en las Normas Oficiales Mexicanas son se muestran en la Tabla 3.6.

Límites permisibles de protección a la salud
que establecen las Normas Oficiales Mexicanas

Contaminante	Norma Oficial Mexicana	Valor del limite permisible	Forma de integración al IMECA
PM ₁₀	NOM-025-SSA1-1993	120 µg/m ³	Promedio móvil de 24 horas. Adaptación para la obtención horaria del IMECA.
PM _{2.5}	NOM-025-SSA1-1993	65 µg/m ³	Promedio móvil de 24 horas. Adaptación para la obtención horaria del IMECA.
O ₃	NOM-020-SSA1-1993	0.11 ppm	Promedio de una hora.
NO ₂	NOM-023-SSA1-1993	0.21 ppm	Promedio de una hora.
SO ₂	NOM-022-SSA1-1993	0.13 ppm	Promedio móvil de 24 horas. Adaptación para la obtención horaria del IMECA.
CO	NOM-021-SSA1-1993	11 ppm	Promedio móvil de 8 horas.

Tabla 3.6. Límites de calidad del aire.
Fuente: NADF-009-AIRE-2006, (2006).

3.10.3. Inventario de Gases de Efecto Invernadero

De acuerdo con datos de la Tercera Comunicación Nacional presentada por México ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, y el Inventario Nacional de Emisiones 1990-2002, nuestro país contribuye con cerca del 1.5% de las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero (GEI), estimándose en poco más de 643 millones de toneladas equivalentes de dióxido de carbono (eq. CO₂), con lo que se ubica en el lugar 12 entre los países con mayores emisiones a escala mundial. De esta contribución se ha estimado que la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) aporta el 6.7% de las emisiones nacionales de GEI (43.4 millones de toneladas eq. CO₂ para el año 2006). El inventario de GEI (Tabla 3.7), nos muestra que para el año 2006 en la ZMVM se generaron: por el consumo de energéticos (gasolinas, diesel, gas natural y gas licuado de petróleo), por la descomposición de la basura en los rellenos sanitarios y por los incendios forestales, 37.7 millones de toneladas de CO₂, 250,900 toneladas de CH₄ y 1,419 toneladas de N₂O. (GDF, 2008).

Emisión de GEI en la ZMVM			
Sector	Emisiones de GEI [ton /año]		
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Industrial	10,345,252	223	29
Comercial-servicios	972,601	19	2
Residencial / habitacional	4,233,924	102	7
Transporte carretero	21,139,856	3,760	1,315
Otras fuentes*	1,069,149	246,796	66
Total	37,760,782	250,900	1,419
* Incluye operación de aeronaves, locomotoras (foráneas/patio), terminales de autobuses, distribución y almacenamiento de gas LP, fugas en instalaciones de GLP, hidrocarburos no quemados (HCNQ) en la combustión de gas LP, incendios forestales y rellenos sanitarios.			

Tabla 3.7. Emisiones totales de GEI, ZMVM – 2006.
Fuente: (GDF, 2008).

Para realizar el Inventario de emisiones de GEI, el Gobierno del Distrito federal ha estimado (no medido) la distribución espacial de las emisiones anuales de contaminantes, se realizó en una malla de 1km x 1km, donde se ubicaron 7,826 fuentes puntuales (Figura 3.4).

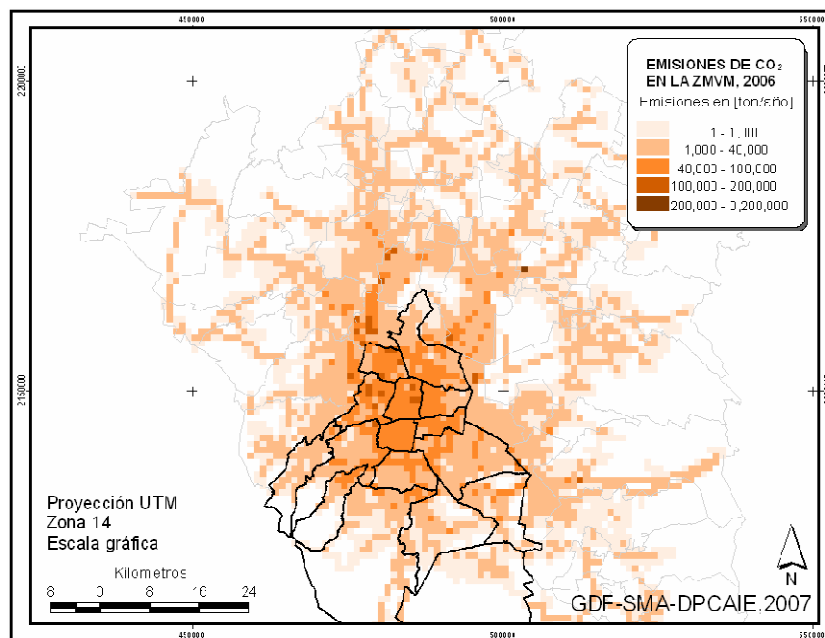


Figura 3.4. Mapa de la distribución espacial de la generación de CO₂.
Fuente: (GDF, 2008).

De acuerdo a este mapa, en Azcapotzalco se encuentran fuentes emisoras que generan entre 40,000 y 100,000 ton/año. Existe un margen amplio de variabilidad en este dato, por ser condiciones antrópicas, y siempre cambiantes.

3.10.4. Monóxido de carbono

El monóxido de carbono es un gas incoloro, inodoro, insípido y no irritante que se origina durante la combustión incompleta del carbón. Las fuentes productoras más frecuentes son estufas, calefones, hornos, incineradores, automóviles etc en mal funcionamiento. La toxicidad del monóxido de carbono (CO) se debe a su combinación con la hemoglobina para formar carboxihemoglobina (COHb). En dicha forma la hemoglobina no transporta oxígeno, dado que ambos gases (O₂ y CO) reaccionan con el grupo hemo en la molécula tetramérica de la hemoglobina. Sin embargo, la afinidad del monóxido de carbono por la hemoglobina es cerca de 240 veces mayor que por el oxígeno, de esta manera, la intoxicación puede ocurrir aún cuando pequeñas cantidades de CO se encuentren presentes en la atmósfera (FCUNLP, 2009).

El CO es poco soluble en agua. La rápida disminución de la presión del gas bajo presión genera mezclas explosivas en la superficie del agua. Su efecto sobre los peces es tóxico. El monóxido de carbono es aproximadamente tan denso como el aire. Ingresa a la atmósfera con los gases de escape de los vehículos y se oxida rápidamente formando dióxido de carbono. Esta sustancia constituye una especial amenaza por su amplia dispersión y su extrema toxicidad para los seres humanos y animales. Es por eso que debe prestarse particular atención a la concentración de CO en el aire en las zonas donde se forma esmog (CES, 2011).

En suelos no saturados con oxígeno se ha constatado una concentración mayor de dióxido de carbono, resultado de la oxidación del monóxido de carbono. El CO acelera la oxidación de NO para formar NO₂. Aproximadamente 80 t de CO/km² son descompuestas por las bacterias del suelo cada año. El tiempo medio de persistencia del CO en la atmósfera oscila entre 1 y 2 meses. El tiempo medio de persistencia del monóxido de carbono ligado a la sangre es, aproximadamente, 250 minutos (Wark y Warner, 2007).

El monóxido de carbono se oxida rápidamente formando dióxido de carbono. Especialmente a altas temperaturas reacciona explosivamente con numerosas sustancias (p.ej. con polvo de aluminio, potasio y dióxido de nitrógeno), con producción de calor (p.ej. con trifluoruro de bromo y óxido de plata). Las plantas metabolizan el CO transformándolo en CO₂ (Figura 3.5). No se han hallado residuos en alimentos ni en golosinas. Los fumadores asimilan cantidades no despreciables de monóxido de carbono por vía pulmonar al inhalar el humo de los cigarrillos (Wark y Warner, 2007).

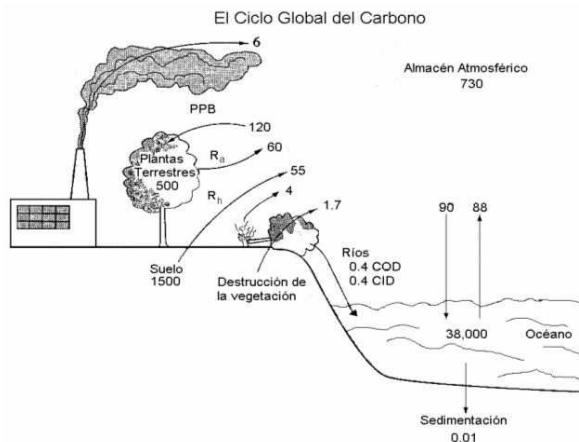


Figura: 3.5. El ciclo global del carbono en la actualidad

Los almacenes están expresados en Pg C y los flujos en Pg C/año. PPB = producción primaria bruta; Ra = respiración autótrofa; Rh = respiración heterótrofa; COD = carbono orgánico disuelto; CID = carbono inorgánico disuelto.

Fuente: Esquema modificado de Schlesinger 1997, y actualizado con información de IPCC 2001. En: (Jaramillo, 2010).

3.11. Derecho humano a un medio ambiente sano

Un medio ambiente limpio es un factor necesario para el buen desarrollo humano. Además de sus implicaciones fisiológicas, éste principio está reconocido como un derecho humano basado en convenciones internacionales como la Declaración de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y el Desarrollo de 1992 en Río de Janeiro, estableció en su principio inicial que “los seres humanos constituyen el centro de las preocupaciones relacionadas con el desarrollo sostenible y tienen derecho a una vida saludable y productiva en armonía con la naturaleza”. México reconoce igualmente este derecho con la promulgación de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA) en 1988; y posteriormente en 1999 con la reforma al artículo 4° constitucional en el que se incluyó el párrafo quinto que establece: “Toda persona tiene derecho a un medio ambiente adecuado para su desarrollo y bienestar” (CDHDF [2], 2008)”.

La OMS reconoce que de las afecciones provocadas por una mala calidad medioambiental, la segunda, son las infecciones respiratorias.

3.12. Isla de Calor

En el área urbana se encuentran características superficiales y de relieve muy variadas, con muchos materiales absorbentes y poca cobertura vegetal, lo que modifica el comportamiento térmico en diferentes zonas. Por esta condición se presentan zonas o puntos de mayor calentamiento conocidos como *islas de calor* (García y Fuentes, 2000).

De acuerdo con Ernesto Jáuregui, en la Ciudad de México, las dos principales se localizan en torno al Zócalo, y la otra cerca del Circuito Interior, entre Reforma y la Raza (García y Fuentes, 2000), (Figura 3.6).

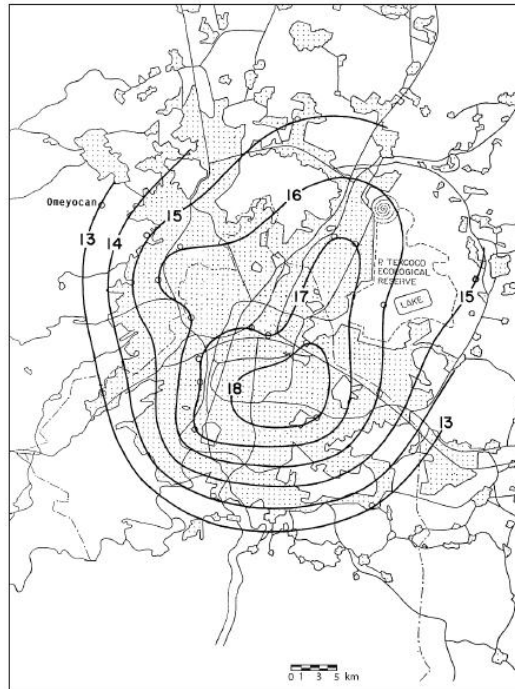


Figura 3.6. Islas de calor de acuerdo a Ernesto Jáuregui en la Ciudad de México.
Fuente: (García y Fuentes, 2000).

Camous y Watson (1986) encontraron diferenciales de temperatura de hasta 30 K entre la superficie oscura de una cubierta y la cubierta vegetal de césped de un jardín (Figura 3.7).

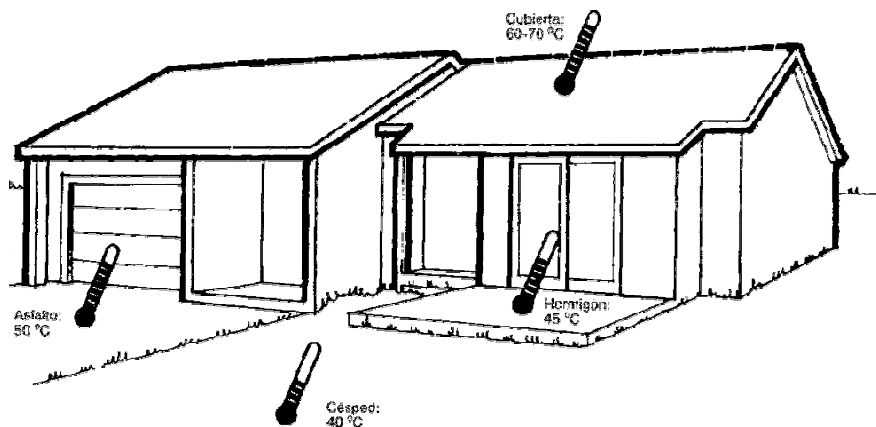


Figura 3.7. Temperaturas medidas en distintas. Superficies.
Fuente: (Camus y Wattson, 1986).

Puppo (1972), menciona que la naturaleza del suelo tiene gran influencia sobre las condiciones térmicas de los microclimas en cada región o zona. La reflexión de los materiales es importante en las condiciones microclimáticas y de confort.

El grado de porosidad y profundidad que presenta el dosel forestal repercute directamente sobre las tasas de energía radiante absorbida y emitida por el suelo. A mayor altura y densidad de cubierta, más elevadas son las tasas de intercepción y menor el tamaño y cantidad de manchas de luz que baten el suelo, por lo que la energía recibida por la superficie del suelo es netamente inferior a la de los sitios descubiertos (Gómez, 2004).

Puppo (1972), menciona que el estudio *The Climate Near the Ground*, publicado en 1965, Rudolph Geiger realizó medidas de la temperatura sobre una calle asfaltada, a una temperatura ambiente durante un día. De manera concurrente se midieron otros puntos cercanos a la calle, encontrándose la influencia del asfalto en el sobrecalentamiento de esa zona. A las 14:00 hrs, cuando el sol se encuentra en el cenit y aportó la radiación solar máxima, se registraron las siguientes temperaturas:

- Temperatura del aire 27.0°C
- Temperatura sobre la superficie 48.5°C
- Temperatura a 30 cm de la superficie 39.0°C
- Temperatura a 120 cm de la superficie 37.5°C
- Temperatura a un lado de la calle 34.0°C

3.13. Plantas usadas para naturar

La NADF-006-RNAT-2004 (2005), así como los ejemplos que se han revisado, coinciden en los tipos de vegetación asociada a los tres tipos de azoteas verdes usadas (Figura 3.8).

Extensive/Biodiverse

- Minimal maintenance required
- No irrigation requirement
- Landscape of:
 - Moss + sedum
 - Sedum + moss + herbs
 - Sedum + grasses + herbs
 - Grasses + herbs
- Extensive substrate
- Build-up height 50-150mm

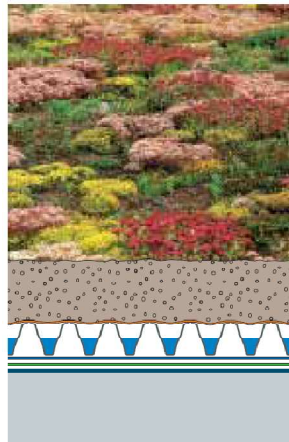


Fig 14: Extensive/Biodiverse

Semi-intensive

- Periodic maintenance
- Periodic irrigation
- Landscape of:
 - Grass + herbs
 - Shrubs + woody plants
 - Woody plants
- Semi-intensive substrate
- Build-up height 100-200mm

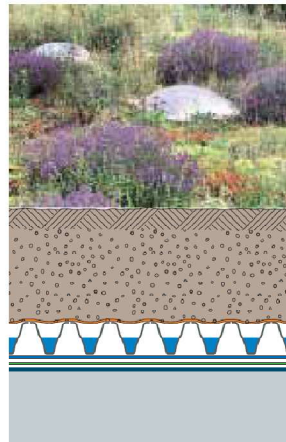


Fig 15: Semi-intensive

Intensive

- Regular maintenance
- Regular irrigation
- Landscape of:
 - Lawn
 - Hedges
 - Bushes
 - Large bushes
 - Trees
- Intensive substrate
- Build-up height 150 1500mm

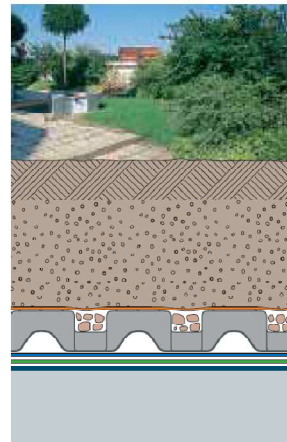


Fig 16: Intensive

Figura 3.8. Plantas usadas en los distintos tipos de azotea verde.
Fuente: (ZinCo, 2010).

En el sistema extensivo se utilizan principalmente plantas pertenecientes al género *Sedum* de diferentes tallas. Para el sistema semi intensivo intermedio se usan plantas ornamentales, pastos, arbustos de todos tipos. Las plantas utilizadas son principalmente usadas como jardinería estética y en este sentido se tienen toda variedad de individuos. Para el sistema intensivo se utilizan árboles principalmente de talla mediana, arbustos y plantas en todas las variedades al igual que en los otros dos sistemas precedentes.

3.13.1. Compatibilidad con el medio

De acuerdo al reconocimiento ambiental que se realizó en el Capítulo 3 *Medio ambiente y envoltentes verdes* del presente trabajo y la paleta vegetal recomendada por la NADF-006-RNAT-2004 (2005), se encuentra que hay compatibilidad del medio con plantas que se han utilizado en las azoteas verdes que se visitaron. Esto en tanto a que son especies vegetales que forman parte de alguno de los tipos de vegetación encontrados de manera natural en la Cuenca del Valle de México. Se debe tomar en cuenta que las azoteas visitadas han sido ejecutadas en su mayoría por la Universidad Autónoma Capingo y por asesores de la UNAM, por lo que hay conocimiento de la vegetación que se adecua al sitio.

Sin embargo, se encuentra incompatibilidad de la paleta vegetal utilizada actualmente en azoteas verdes con el uso como elemento de control térmico debido a que, como lo demostró Minke (2005), las capas vegetales de poca cobertura superficial, promueven mucho intercambio térmico, dejándose el trabajo de regulación térmico al sustrato.

Se pone como ejemplo las plantas utilizadas en la cubierta verde de una oficina del MHN de Chapultepec:

Nombre científico: *Sedum praealtum*

Familia: Crassulaceae (Crasuláceas). Origen: México. Planta crasa de gran desarrollo, pudiendo alcanzar 1,5 m de altura si no se poda. Luz: pleno sol. Temperaturas: resiste -3°C. Suelo: toda clase de terrenos, incluso calizos y próximos al mar. Riego: una vez por semana en primavera y verano y una vez al mes durante el invierno. Suelo bien drenado (Infojardin, 2010). Podemos ver que es una planta adecuada a su región ecológica, de bajo consumo de agua. Sin embargo no es adecuada al uso que se le destina porque tiene un crecimiento natural alto y el espesor de sustrato es mínimo, por lo que la planta tiene condiciones adversas a su desarrollo pleno, y en esta medida limita su aportación potencial a su medio ecológico. Igualmente tiene hojas compactas que forma frondas altamente porosas, lo que evita que la planta contribuya a formar una “cámara plena” y a reducir la pérdida convectiva del elemento arquitectónico, aportando igualmente un sombreado escaso; y dejando por esto el mayor trabajo de regulación térmica al sustrato.

En esta medida la planta no está participando del amortiguamiento térmico. Que no por esto es una mala alternativa, pero debemos de especificar la participación que tiene cada elemento en un sistema, al que se le puede sacar más provecho mediante el conocimiento de las condiciones reales de trabajo de cada elemento.

3.14. Fauna nociva y mutualista

En las cubiertas y muros verdes que se han visitado y de acuerdo al testimonio de los usuarios cercanos de estos espacios, se tiene referencia de que los animales que se han propiciado a partir del establecimiento del sistema son parte de la misma fauna urbana presente en el D. F. somprincipalmente insectos, aves y roedores que varían su presencia de acuerdo al ciclo estacional de la vegetación y las especies plantadas. Sobre todo son las aves las que se ven más favorecidas del establecimiento de los sistemas debido a que se propicia la población de insectos con los que cubren su dieta.

Tanto los mutualistas que pueden libar, polinizar y ser inocuos al ser humano, como fauna como ratas, o insectos nocivo para el ser humano, son parte de la implementación de envolventes verdes. Se deben prever controles naturales y de los mismos elementos de diseño para evitar que este aspecto sea nocivo a los habitantes de los espacios.

3.15. Beneficios ambientales pueden aportar las envolventes verdes

3.15.1. Oxígeno

Sabemos que la vegetación aporta oxígeno, sin embargo es difícil determinar información la cantidad precisa que se puede generar, sobre todo tomando en cuenta que cada especie tiene una tasa de intercambio de CO₂ distinta. Se tiene por ejemplo el dato general de que un metro cuadrado de pasto puede aportar la cantidad requerida por una persona diariamente, así como el dato general de la producción de algunas especies en particular y áreas con vegetación.

Para la ciudad de Toronto , en el estudio de costos y beneficios Doug (2005) estableció estos valores para azotea naturada con pasto, que se ha convertido en una convención citada de manera mecánica y genérica por proveedores como válida para todos los sistemas de azoteas e incluso muros verdes, aun cuando no sean en base a pasto (Tabla 3.8).

Impacto en la calidad del aire de techos verdes

	CO	NO ₂	O ₃	PM ₁₀	SO ₂	US\$
mg per 109.386 ha of green roof area per year	0.35	1.6	3.14	2.17	0.61	43,106

Tabla 3.8. Impacto en la calidad del aire de los techos verdes con pasto.
Fuente: (Doug, 2005).

Sin embargo no se cuenta con estudios bien definidos por especie de cuánto oxígeno puede producir la vegetación. Parte del desarrollo de este trabajo en los siguientes capítulos será esclarecer esta información para el sistema que proponemos, de acuerdo a la vegetación aplicada.

3.15.2. Ahorro Verde

Energía: Mencionamos antes que para una carga térmica en Watts (CTW) admitida al interior, le corresponden $\rightarrow \text{CTW}/3.52 = \text{Toneladas de refrigeración}$. Y que por cada 1.5 Toneladas de Refrigeración se requieren 1.385 kW/h de consumo energético.

Estas cifras en términos de ahorro en emisiones contaminantes, que en este apartado hemos llamado "Ahorro Verde", le corresponde la siguiente proporción:

***Contaminantes que dejan de emitirse
a la atmósfera por cada kW/h ahorrado
por el consumo final***

- 681 gramos de CO₂
- 5.8 gramos de SO₂
- 2.5 gramos de NO_x
- 0.35 gramos de polvo y partículas suspendidas
- 3.6 m3 de agua

Fuentes: FIDE, 1997; DOE, 1996, en (García y Fuentes, 2000)

Igualmente a cada cantidad de combustibles quemados de manera directa, en el caso de calentamiento a gas, corresponde una cantidad proporcional de gases emitidos. Estas estimaciones se obtendrán del programa de cálculo térmico Design Builder, que de acuerdo a las cargas térmicas generadas por un edificio y los combustibles que requiere para su acondicionamiento, desglosa la cantidad de emisiones de CO₂ emitida. En la medida que un sistema contribuya a reducir el consumo de combustibles, lo hará a la vez a reducir las emisiones de contaminantes.

Agua: con la selección de la vegetación adecuada en una envolvente verde se puede tener un ahorro importante en gasto de agua, gozando del beneficio de la vegetación sin restar el líquido del consumo humano. Los ahorros en agua devienen ahorros en energía debido a que el agua que se deja de regar es agua que no se bombea, desde su origen hasta los traslados internos a nivel de edificación para llegar a la planta.

Salud e impactos monetarios: En el Informe Especial sobre Seguridad Humana en la Ciudad de México 2006-2008 (CDHDF [2], 2008) se han establecido los beneficios a la salud derivados del control de los contaminantes, mostrándose que por cada decremento de 10% en los niveles de PM₁₀ y ozono se podrían evitar 1,000 muertes y 300 muertes prematuras respectivamente. En el caso del ozono se estima que el mismo decremento puede reducir el número de días de actividad restringida en casi 2 millones de casos (Tabla 3.9).

En este mismo estudio se cuantificaron los beneficios a la salud en impactos económicos. Se establece que las reducciones de 10% de estos contaminantes aportaría un ahorro total de cerca de 2 mil millones de dólares al año ante la reducción de PM₁₀ y 200 millones de dólares ante la reducción de ozono (CDHDF [2], 2008).

PM ₁₀	Ozono	
Mortalidad total	Mil casos/año	-
Muertes prematuras	-	300 casos/año
Actividad restringida	-	dos millones casos/año

Fuente: J. S. Evans, "Health Benefits of Air Pollution Control", en *Air Quality in the Mexico Megacity*, L. T. Molina y M. J. Molina, Boston, Kluwer, 2002.

Tabla 3.9. Beneficios en la salud de los habitantes de la ZMVM por la reducción de contaminantes.
Fuente: (CDHDF [2], 2008).

Igualmente cada contaminante tiene impactos en la salud, que al evitarse se reducirían las afectaciones a la vida social, productiva y económica de las personas, como económica del sector salud (Tabla 3.10).

Contaminantes	Efectos en la salud
<i>Plomo</i> (Pb)	Una alta concentración en el flujo sanguíneo puede incrementar la incidencia de aborto en mujeres, perjudicar la función renal y aumentar la presión arterial. Puede retardar el desarrollo intelectual de los niños y afectar su comportamiento. Se absorbe más cuando el consumo de calcio en la dieta es bajo, en casos de deficiencia de hierro, cuando el estómago está vacío y cuando se es joven, de modo que los menores con escasos recursos mal nutridos son particularmente susceptibles a envenenamiento con plomo.
<i>Partículas</i> (PST, PM ₁₀ y PM _{2.5})	Las partículas ultrafinas (PM _{2.5}) pueden penetrar en la parte más profunda del tracto respiratorio, causar problemas respiratorios, exacerbar el asma y dañar la función pulmonar. Las partículas derivadas del uso de diesel pueden representar riesgo de cáncer.
<i>Monóxido de carbono</i> (CO)	Inhibe la capacidad de la sangre de llevar oxígeno a órganos y tejidos. Las personas con enfermedades cardíacas crónicas pueden experimentar dolores de pecho cuando los niveles son altos. A niveles muy altos perjudica la visión, la destreza manual, la capacidad de aprendizaje y puede causar la muerte.
<i>Óxidos de azufre</i> (SO _x)	Los que se emiten de fuentes vehiculares producen cambios en la función pulmonar en asmáticos y exacerba los síntomas respiratorios en individuos sensibles. Provoca tos, secreción mucosa y bronquitis crónica. Aumenta la propensión en individuos sensibles de contraer infecciones en el sistema respiratorio.
<i>Óxidos de nitrógeno</i> (NO _x)	Causan cambios en la función pulmonar en asmáticos.
<i>Ozono</i> (O ₃)	Se asocia con disminución de la función pulmonar en individuos que hacen ejercicios entre liviano y pesado.

Fuente: datos del Banco Mundial, "Ciudades en movimiento", 2002 y de la OMS, "Calidad del aire y salud", 2008.

Tabla 3.10. Efectos en la salud relacionados con los contaminantes

Fuente: (CDHDF [2], 2008).

3.15.3. Regeneración ambiental

De acuerdo con Yeang (2001), la zona urbana del distrito federal y dentro de ésta Azcapotzalco, se ubica en una jerarquía de ecosistema tipificada como "cultura ecológica cero", al ser un gran emplazamiento de componentes totalmente artificiales, sin rastro de cultura ecológica; al que corresponden medidas de intervención tales como:

- Incrementar la biodiversidad y la masa orgánica
- Rehabilitación de ecosistemas

Tomando en cuenta que el espacio urbano del Distrito Federal ocupa el 41% del total de la ciudad¹⁸, concentrado en 7 delegaciones (CORENA, 2011), es sobre este espacio que se puede ir recuperando terreno a favor de las áreas verdes. La gran importancia de implementar envoltentes verdes en el espacio urbano de la ciudad radica en que de esta manera se puede acercar la vegetación a las zonas densamente construidas, que como se mostró en el inventario de GEI para la ciudad de México es donde se concentra la mayor cantidad de gases contaminantes emitidos. Edwards (2008) menciona que el 80% de nuestras vidas urbanas se desarrolla dentro de un edificio, y el otro tanto en la ciudad, por lo que el contacto más directo con un medio más natural dentro de los espacios edificados humanizará esta relación. La inclusión de vegetación ayuda a conservar más las temperaturas históricas de las localidades, bien por mitigar la isla de calor, o bien por su contribución a reducir la emisión de gases de efecto invernadero que con el tiempo llegan a

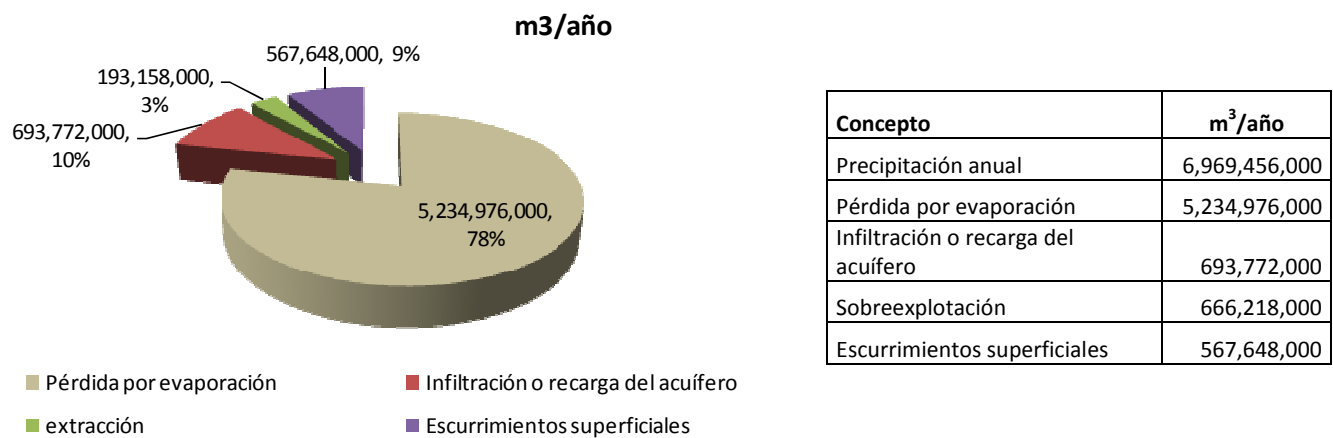
¹⁸ La superficie total del D. F. es de 149,900 hectáreas.

modificar el régimen climático y con esto las temporadas de lluvia, los ciclos de frío – calor, que permiten el desarrollo pleno de la vegetación y el cumplimiento de sus ciclos vitales como floración, fructificación, reproducción y en general crecimiento. En el caso de las plantas útiles este mismo aspecto se refleja en su productividad.

En este aspecto se entrecruzan todos los componentes del problema, puesto que el medio ambiente se concatena con cada una de las actividades humanas. El mejoramiento y racionalización de su desarrollo impacta positivamente.

De esta manera, al incluir vegetación en el medio construido urbano se promueve la estancia de fauna que contribuirá a la polinización natural y a la diseminación de las especies de manera natural. Esta misma fauna podrá contribuir a controlar de manera natural la población de fauna nociva que se encuentra presente en la ciudad.

Incluir vegetación de bajo consumo hídrico permitirá que el esfuerzo por naturar la ciudad no derive en agudizar la crisis del agua con todas las consecuencias que mostramos anteriormente. Por otro lado, incluir vegetación en la ciudad logra que el agua de lluvia se retenga, debido a que el diseño de los drenajes de nuestra ciudad hace que se pierda o se mezcle con las aguas negras. Del total de lluvia que cae sobre la Cuenca del Valle de México se pierde: 78% por evaporación, 9% por escurrimientos superficiales, el 10% se infiltra o recarga el acuífero, y se sobreextrae más del agua disponible (Montero, 2009). En esta cadena puede mediar la vegetación para retener agua en nuestra ciudad en las zonas urbanizadas (gráficas 3.4 y 3.5).



Gráficas 3.4 y 3.5. Balance hidrológico de la Cuenca de Valle de México.
Fuente: (Montero, 2009).

3.16. Fauna funcional

En los ecosistemas regenerados, la fauna que se presenta es la misma que encuentra en las plantas un hábitat propiciatorio, por lo que las aves, insectos y animales que comienzan a

repoblar las zonas verdes son las que naturalmente viven de ellas. Esta misma fauna es la que complementa el ciclo virtuoso del ecosistema al aportar un papel al sostenimiento del ecosistema y permitiendo a la vez que las plantas puedan completar sus propios ciclo. Por ejemplo, los insectos y aves polinizan de manera natural las comunidades de plantas de una región, asimismo dan mantenimiento y uso de estos espacios. Sobre todo en el momento del estudio de la vegetación que se incorporará a las azoteas, se debe hacer una reconstrucción de los ciclos vitales en los que participa, con la idea de formar ciclos regulados. En el caso de la planta que estudiamos como parte de este estudio, se considerará la fauna que se relaciona con ella.

3.17. CONCLUSIONES

- El crecimiento urbano en la ciudad la ha hecho perder sus condiciones naturales, hasta el día de hoy en que no es posible recuperarlas.
- Nuestra historia urbana tiene tres principales puntos de quiebre histórico en el deterioro ambiental de la ciudad: 1). La desecación de los lagos de la cuenca para establecer la ciudad novohispana; 2). La década de los 40, en que la población se duplicó y se preparó la ciudad para un crecimiento que el medio natural no podía absorber ni soportar; y 3). El que comenzó en los 80, en que las zonas urbanas hubieron crecido 8,000 veces respecto a la década de los 50, considerando su integración a la ZMVM. En esta fase de deterioro nos encontramos actualmente, resintiendo las consecuencias del uso descuidado de nuestro medio ambiente, pero con la posibilidad de intervenir hoy y mejorar nuestra calidad medioambiental. Una de las vías para hacerlo es la naturación urbana.
- La cantidad de áreas verdes que tiene la Ciudad de México en metros cuadrados por habitante ($15.1 \text{ m}^2/\text{hab}$) se acerca a los recomendados por la ONU y rebasa lo recomendados por la OMS. Sin embargo se encuentran localizadas en reservas lejanas a los núcleos más urbanizados, por lo que sus beneficios directos al habitante se pierden con la distancia. Es necesario dotar los centros altamente urbanizados de espacios verdes, lo que se puede lograr con la naturación de los edificios.
- El mayor problema de esta ciudad es el agua: su abasto, aprovechamiento, dotación, desecho y más problemas colaterales. Se establece así un tema tirante entre la necesidad de aumentar la cantidad de áreas verdes y la de conservar el agua. Por esto es una necesidad tratar de incorporar a los edificios naturados plantas de bajo consumo hídrico.
- El otro gran problema de la Ciudad, originado por su densidad poblacional y actividades económicas es la contaminación del aire. La vegetación puede ayudar mitigar este problema aportando oxígenos y asimilando GEI como el CO_2 , de manera directa y otros contaminantes de manera indirecta por ahorros energéticos, pero es necesario cuantificar los impactos para tener parámetros y establecer metas reales a realizar.
- Por estas condiciones de deterioro ambiental es necesario y urgente reintegrar áreas verdes a las zonas más urbanizadas de la Ciudad. La naturación de azoteas y muros se vuelve una herramienta adecuada para lograrlo en las edificaciones ya existentes.

CAPÍTULO

4

OTRO SISTEMA DE ENVOLVENTES VERDES PARA LA CIUDAD DE MÉXICO

ÍNDICE DEL CAPÍTULO 4

- 4.1. Caracterización climática del D. F. Azcapotzalco
- 4.2. Paleta vegetal adecuada al D. F.
- 4.3. Vegetación adecuada a un sistema aligerado
- 4.4. Pitahaya
 - 4.4.1. Datos generales
 - 4.4.2. Datos taxonómicos
 - 4.4.3. Distribución
 - 4.4.4. Potencial climático
 - 4.4.5. Tolerancia a la contaminación
 - 4.4.6. Preencia histórica y cultural
 - 4.4.7. Comportamiento metabólico
 - 4.4.8. Tolerancia a la radiación
- 4.5. Colecta de plantas
 - 4.5.1. Registro de individuos
- 4.6. Densidad del material vegetal
 - 4.6.1. Unidad de masa
 - 4.6.2. Volumen
 - 4.6.3. Proceso de medición
- 4.7. Estimación de RFA
- 4.8. Modelo constructivo
 - 4.8.1. Conformación del modelo
 - 4.8.2. Materiales
 - 4.8.3. Arreglo constructivo
 - 4.8.4. Densidad de cobertura
 - 4.8.5. Peso del sistema
- 4.9. Mediciones térmicas de materiales
- 4.10. Peso por material
- 4.11. Resultados
- 4.12. Conclusiones

4.1. Caracterización climática del Distrito Federal. Azcapotzalco

Se obtuvieron los datos climáticos de Azcapotzalco de diversas fuentes. Se procesaron los datos climáticos de Azcapotzalco mediante la hoja de cálculo de datos climáticos (Fuentes, 2010) para reconocer el comportamiento general de los elementos del clima aun cuando en las simulaciones térmicas en Design Builder (DSB, 2010), se utilizó la caracterización climática de la ciudad de México de la base de datos del año 2000, de Energy Plus (DOE, 2009) en formato .epw, por ser esta una base de datos horaria, completa y compatible con la interfaz de análisis. Tablas de análisis de datos climáticos en el **ANEXO 1**.

Los datos Generales del sitio de análisis son los siguientes:

Azcapotzalco, D.F.

CLIMA	Cb (w1) (w) (i') g
BIOCLIMA	Templado
LATITUD	19°.27'
LONGITUD	99°.11'
ALTITUD	2252 msnm

Clima según Köppen modificado por García (1988): templado subhúmedo converano fresco largo, con pocas oscilaciones, con marcha de temperatura tipo ganges.

4.1.1. Temperatura

Temperatura media anual de 17.7°C; máxima anual de 25.1 °C; mínima anual de 10.2°C; mínima extrema anual de 4.6°C; oscilación promedio anual de 14.9°C; la temperatura máxima extrema (normal) se presenta en abril con 28.2°C; sin embargo el mes más cálido es mayo, con una temperatura media mensual de 20.2°C; la temperatura mínima extrema mensual se presenta en febrero con 4.6°C, aun cuando el mes más frío es enero, que presenta una temperatura media mensual de 14.7°C. El mes con oscilación promedio más amplia es marzo que corresponde a 18.1°C (SMA-EAS, 2000)

4.1.2. Humedad Relativa (HR)

Las HR promedio anual y mensuales se mantienen predominantemente dentro de la zona de confort (30% a 70%), excepto en marzo, donde la mínima mensual desciende de la ZCi para situarse en 29%, y en septiembre y octubre la máxima alcanza a esta en 81%. El mes del año con menor HR es marzo y el de mayor HR es septiembre (García y Fuentes, 2000).

4.1.3. Presión atmosférica

La presión atmosférica promedio anual es de 774.2 hP. Los promedios mensuales se mantienen durante todo el año con muy ligeras variaciones al promedio anual (SMA-EAS, 2010).

4.1.4. Precipitación pluvial

La precipitación media anual es de 784 mm. El mes con mayor precipitación media (normal) es julio, que alcanza 165.9 mm. El de menor precipitación media es diciembre con 6.7 mm (SMA-EAS, 2010).

4.1.5. Radiación Solar

La radiación teórica, estimada en base a la Media Histórica del Observatorio de Tacubaya, Período 1941-1997 (García y Fuentes, 2000), incide con más intensidad en el mes de marzo con 797 W/m^2 . El mes con menor radiación es diciembre con 571 W/m^2 . El promedio de radiación anual es de 666 W/m^2 . Los meses de enero, febrero, octubre, noviembre y diciembre presentan 9 hrs con radiación mayor a 120 W/m^2 . De marzo a septiembre se tienen 11 hrs con más de 120 W/m^2 . Sólo de abril a agosto se presenta radiación a las 6:00 y a las 17:00 hrs, el resto de los meses, comienza a haber radiación a las 7:00 y hasta las 16:00 hrs.

Debemos decir que los datos anteriores son bajos respecto a los medidos por el piranómetro del laboratorio de energía solar de la UAM Azcapotzalco que se tomaron durante las medición de los cubos térmicos que más adelante describiremos en el capítulo 6. Los niveles de radiación registrados en el mes de junio y julio llegaron a superar los 1000 W/m^2 a las 13:00 hrs.

4.1.6. Índice ombrotérmico

La relación establecida entre escalas de de temperatura y precipitación nos indica a cada cuántos grados centígrados corresponde una equivalencia en milímetros de precipitación. De éste análisis obtenemos una caracterización mensual y anual de sequía o humedad de la localidad. Para nuestro caso el índice ombrotérmico nos marca que los meses de enero a mayo, así como noviembre y diciembre, son secos. De junio a octubre los meses son húmedos. El promedio anual de esta relación da referencia de que en la localidad domina un índice seco. La importancia de esta medición es que nos da los parámetros anuales donde la vegetación requerirá de riego auxiliar. Calculado en esta investigación con base en (Fuentes, 2009). Las tablas y gráficas se pueden consultar en el **ANEXO 1**.

4.2. Diagramas Bioclimáticos

Como es necesario en el método de diseño bioclimático, antes de abordar cualquier motivo de diseño se deben tener presentes los análisis que nos arroja las herramientas que tenemos para este fin. Aun cuando en el presente trabajo se está analizando una casa preexistente, y el propósito es evaluar el las aportaciones de un sistema de naturación, tener presentes los diagramas de prediseño bioclimático permitirá contrastar a cuál de las recomendaciones o estrategias está contribuyendo el Sistema de Naturación que investigamos.

4.2.1. Mhoney

El análisis con el método de Mhoney (Fuentes, 2008) deriva en recomendaciones de prediseño bioclimático para las condiciones climáticas de Azcapotzalco:

- Orientación de los edificios Norte-Sur (eje largo E-O)
- Configuración compacta de la edificación
- Habitaciones en doble galería
- Ventilación teporal (en periodos de sobrecalentamiento)
- Aberturas pequeñas del 20 a 30% con ubicación en norte y sur
- Muros y pisos masivos, arriba de 8 horas de retardo térmico

Ver tabla en **ANEXO 1**.

4.2.2. Triángulos de Confort de Evans

Las estrategias recomendadas por éste método de análisis (Fuentes, 2008) son:

- Para los meses de enero, febrero julio, agosto, octubre, noviembre y diciembre → Uso de Masa térmica (de invierno) más Ganancia Solar.

Para marzo, abril, mayo y junio → Masa térmica (de verano),

- Ganancias solares más ganancias internas para septiembre.

Ver tabla en **ANEXO 1**.

4.2.3. Carta Bioclimática

Este análisis realizado de acuerdo con la carta bioclimática de Olgyay revisada por Szokolay en Fuentes (2008) nos indica que se presentan condiciones de confort, cuando se presentan las T máx en los meses de enero, febrero, julio, septiembre, octubre, noviembre y diciembre.

- En todos los meses se recomienda la ganancia de radiación, que para los meses más fríos deberá ser de 420 a 490 W/m²; en los meses cálidos de 210 a 280 W/m². En condiciones templadas un promedio de 35° W/m².
- Todos los meses de requiere sombreado para mitigar el las T máx.
- De marzo a junio y en agosto se recomienda ventilación selectiva.
- Se requiere humidificación de marzo a mayo.

Ver Cartas bioclimáticas en **ANEXO 1**.

4.2.4. Carta Psicrométrica

De acuerdo con Szokolay (1999) y Fuentes (2008), se entra en confort en enero, febrero, y de septiembre a diciembre, cuando se presentan las T máx.

- Se requiere Radiación Solar cuando cuando se presentan temperaturas medias y mínimas.
- Se requiere sombreado en todos los meses cuando se presentan las T máx.
- Ventilación necesaria de marzo a agosto cuando se presentan las T máx.
- Se recomienda enfriamiento evaporativo de marzo a junio cuando se presentan las T máx.
- En todo el año es adecuado el uso de Masa Térmica invernal.
- En todos los meses, excepto julio y agosto es adecuado el uso de Masa Térmica de verano.

Ver Cartas Psicrométricas en **ANEXO 1**.

4.3. Paleta Vegetal adecuada al D. F.

De acuerdo al análisis anteriormente abordado en este documento sobre la problemática del agua en la ciudad de México y su aparente contraposición con incrementar la cantidad de jardines urbanos en la ciudad, la vegetación de bajo consumo hídrico es una necesidad. Por una parte el análisis de la vegetación adecuada para ser incluida dentro de las propuestas de naturación debe tomar en cuenta la compatibilidad de las especies con el medio, en este caso del D. F., lo que podrá permitir que la planta desarrolle su potencial y de esta manera aporte sus cualidades al medio ambiente, a la vez que podrá vivir demandando el mínimo mantenimiento para su buen estado de conservación.

Existe en el país un potencial biológico muy rico en especies que puede ser utilizado para natural las envolventes de edificios. Dentro de esta riqueza, hay plantas que han desarrollado la capacidad de adaptarse a las condiciones de la cuenca de México, sin perder las características que las hacen atractivas para obtener un sistema de bajo mantenimiento, como las suculentas y las epífitas, que consumen bajas cantidades de agua. De acuerdo con Bravo-Hollis (1978), en México se concentra más del 50% del total de las especies de cactáceas conocidas, sobre todo en sus zonas árida y semiárida.

Además de la gran riqueza de vegetación y plantas útiles de bajo consumo hídrico en nuestro país, tenemos hoy en la ciudad y en el país una aguda crisis por la disposición de agua, y sobre todo en los centros urbanos densamente poblados, por esto, se nos presenta ineludible la necesidad de incorporar una paleta vegetal tan basta de bajo consumo hídrico a los proyectos de naturación y regeneración ecológica urbana.

En la práctica de la construcción de azoteas y muros verdes se ha provado la eficiencia de las plantas suculentas, tanto por su talla y peso pequeño, como por sus bajos consumos de agua. Igualmente la norma de techos verdes **NADF-013-RNAT-2007** lo refuerza y sugiere algunas características que deben guardar las plantas a incorporar, y algunas especies, pero no es limitativa ni orienta la paleta vegetal hacia las especies nativas de México, lo que creemos que debe ser fundamental para conseguir todos los efectos positivos que se han ido tratando en este trabajo.

4.4. Vegetación adecuada a un sistema aligerado

Se ha desarrollado el reconocimiento detallado de una planta adaptable al sistema de envolvente vegetal ligera, con raíz autoadherente, que tiene capacidad de establecerse sobre superficies de distintos materiales como lámina, tabique, piedra, concreto, o pinturas e impermeabilizantes.

La vegetación que será analizada en el presente trabajo ha sido seleccionada de acuerdo a los siguientes criterios: Adecuada a la radiación solar de Azcapotzalco; Resisitente a periodos de sequía; Adecuada a las temperaturas de la localidad analizada; Condiciones de bajo o nulo mantenimiento; Resistente a la acción del viento; Resistente a los niveles de contaminación de la zona urbana; Con un desarrollo tapizante rápido y duradero. Que sea especie nativa de México y que ayude a regenerar ambientalmente la Cuenca.

Otro criterio que llevó a seleccionar la planta que se interga al presente trabajo es el de ser una planta suculenta y por contar con un alto contenido de agua en su constitución, que es uno de los materiales con la mayor inercia térmica, puede aportar mayor efecto de masa vegetal a la envolvente del edificio.

Se busca establecer un sistema de naturación que pueda llegar a prescindir de la presencia del sustrato sobre el elemento arquitectónico, lo que corresponderá al desarrollo de un nuevo campo de desarrollo y aplicación de la naturación, sumado a que se busca que sea un sistema nacido de nuestras propias condiciones naturales y constructivas.

Con estas premisas, con la asesoría de el Dr. Alfonso Valiente¹⁹ se seleccionó la planta *Hylocereus undatus*, por cubrir las características a ser evaluadas e integradas a un sistema de naturación.

4.5. Pitahaya

4.5.1. Datos generales



Nombre común: Pitahaya (México)
Nombre científico: *Hylocereus undatus*
Origen: México, Continente Americano²⁰

Cactácea suculenta.

4.5.2. Datos taxonómicos

Reino: VEGETAL
Orden: CACTALES
Familia: CACTACEAE Lindl
Subfamilia: CACTOIDEAE
Tribu I: HOLOCEREAE [Britton & Rose]
Tribu II: HOLOCEREINAE [Britton & Rose] [Buxbaum]
Género 13: *Hylocereus* (Berg) [Britton & Rose]
Especie: *undatus*

De acuerdo con Ortiz (1999) Britton y Rose describen 18 especies para el género *Hylocereus*. Bárcenas (1998) menciona que han sido registrados alrededor de 25 especies en América, que para fines de este trabajo no se profundiza en su especificación.

¹⁹ Investigador del Instituto de Ecología de la UNAM, y asesor del presente trabajo desde su etapa inicial.

²⁰ No existe un consenso en el origen de esta variedad. Algunos autores lo ubican en México, otros en Colombia, Uruguay, Brasil ó Martinica. Para efectos de este trabajo, dada la larga historia, presencia e integración de esta planta a nuestras condiciones naturales, prácticamente en todo nuestro territorio, se considera nativa de México.

Para México, Bravo-Hollis (1978) describe tres especies de *Hylocereus*:

H. purpusii (Weingart) Britton & Rose

H. ocamponis (Salm - Dyck) Britton & Rose

H. undatus (Haworth) Britton & Rose

Bárcenas (1998) refiere que Bravo-Hollis reconoce que en Mesoamérica crecen nueve especies de *Hylocereus*.

4.4.3. Distribución de *Hylocereus*

Es importante hacer referencia a la distribución de *Hylocereus undatus*, y sus características de adaptación a diferentes condiciones, porque en esta misma medida, el sistema de naturación que buscamos consolidar podrá ser aplicado.

En el Continente Americano se encuentra presente de manera natural desde las costas de Florida hasta Uruguay, incluyendo México, islas del Caribe, Guatemala, Nicaragua, Costa Rica, Panamá, Ecuador, Perú y Brasil (Figura 4.1).

Hablando de su distribución potencial, por la fácil adaptación que tiene el género *Hylocereus*, en la actualidad se encuentra distribuido con fines comerciales también en Israel en el desierto de Neguev, Vietnam (introducida desde hace 100 años por los franceses), Japón y con fines ornamentales en países de todo el mundo (Bárcenas 1998).

En México, se encuentra con más presencia y de manera natural en Puebla, Veracruz, Oaxaca, Chiapas, Tabasco, Campeche, Yucatán, Quintana Roo, Guerrero, Michoacán, Colima, Nayarit, Tamaulipas, Hidalgo y San Luis Potosí. En Ramírez (2010), se reporta que se encuentra de manera natural también en Sinaloa y Jalisco. En otros Estados también se encuentra de manera ornamental (Figura 4.2).

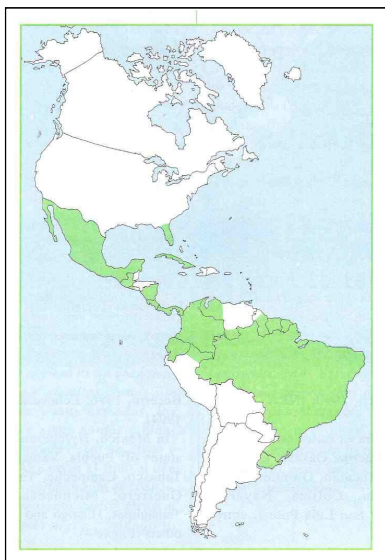


Figura 4.1. Distribución de *Hylocereus* en América.

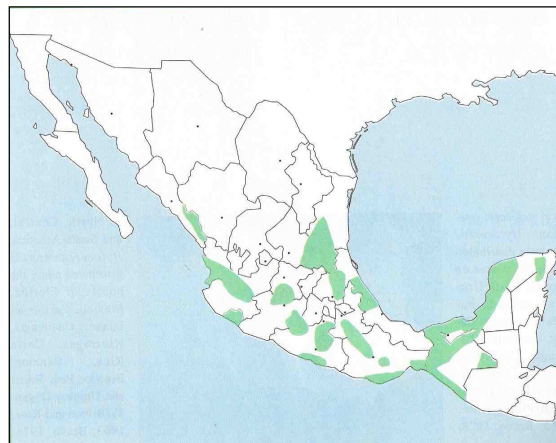


Figura 4.2. Distribución de *Hylocereus* en México.

Fuente: (Ortiz, 1999).

4.5.4. Potencial Climático

De acuerdo a las capacidades de adaptación de *H. undatus*, el potencial de aplicación de un sistema de naturación basado en esta planta tiene las mismas posibilidades de establecerse. Sobre la adaptación de *Hylocereus* en México, Calix (1996) menciona que se desarrolla desde los 2 msnm (Puerto Vallarta), hasta los 2,750 msnm (Oro y Vía de la Victoria, Edo. de México). En zonas de precipitaciones anuales de los 430 mm, hasta zonas con 3,500 mm (Escuintla, Chiapas) y en temperaturas anuales promedio de 13°C (Sn. Rafael, Edo. de México) a 28.5°C (Arriaga, Chiapas).

Aun cuando no es parte de su localización original, *H. undatus* tiene presencia en la Ciudad de México. Las plantas *Hylocereus undatus* usadas en la fase experimental del presente trabajo fueron obtenidas del Jardín Botánico de la UNAM, donde se encontraban al exterior, sobre un adarve de piedra volcánica y otras trepadas sobre un tutor vivo (árbol). Se encontraban en muy buen estado de salud, es decir, perfectamente bien adaptadas a las condiciones climáticas de esta zona de la Ciudad: Altitud de 2,323 msnm; Precipitación media anual de 990.5 mm; Temperatura media anual de 15.4°C (SMN-EAP, 2010). De acuerdo a lo referido por el biólogo Jerónimo Reyes del Instituto de Biología de la UNAM, estas plantas fueron colectadas del medio rural en la región de Tehuacan, Puebla, hace aproximadamente nueve años, y su adaptación a estas condiciones de la Ciudad de México ha sido exitosa (Figuras 4.3 y 4.4).

Se han ubicado algunos manchones de *Hylocereus undatus* en camellones de la colonia Bosques de Aragón, de la ZMVM (Figuras 4.5 y 4.6), en un domicilio particular de la Colonia Pantitlán, en domicilios particulares de diferentes zonas del Distrito Federal.

La piatahaya tiene la capacidad de adaptarse bien a la altitud, humedad, régimen pluvial y temperatura del D. F. sin embargo se encuentra de manera escasa, y sólo con uso ornamental en domicilios particulares. Condición que no es ajena a la propia historia de la pitahaya; como lo refiere Bárcenas (1998), es una cactácea que en México se había considerado una planta doméstica o de “traspatio” cultivándose sólo a nivel familiar.

Se registró una pitahaya en un domicilio particular de la colonia Juárez en Ciudad Nezahualcóyotl, Edo. de México, a una altitud de 2,278 msnm; Precipitación normal anual de 663.3 mm (SMN-ENZ, 2010); Temperatura media anual de 15.8°C (INAFED, 2010); Sin datos de H. R. disponibles. Con una adaptación buena, denotada por sus condiciones de salud y una velocidad de crecimiento según los propietarios, de 3 metros de longitud en un año, trepando sobre una pared aplanada y pitada con pintura vinílica. Donde la planta no fue tutorada, y sola fue generando la adhesión al muro mediante sus raíces adventicias. Se tomaron dos esquejes de esta planta para ser pesadas, medidas y trasplantadas. Acerca de este ejemplar, los propietarios refieren verbalmente que no saben de dónde procede la planta. Se compró en un tianguis como pequeño esqueje (Figuras 4.7 y 4.8).



Figuras 4.3 y 4.4. Banco de pitahayas en el Jardín Botánico de la UNAM, de donde se obtuvieron en donación. Imágenes tomadas en sitio.

Fuente: Imágenes tomadas en sitio (2010).



Figuras 4.5 y 4.6. Pitahaya en camellón de colonia Bosques de Aragón, ZMVM.

Fuente: Imágenes tomadas en sitio (2010).



Figuras 4.7. y 4.8. Pitahaya en muro de domicilio particular en Cd. Nezahualcóyotl, ZMVM.

Fuente: Imágenes tomadas en sitio (2010).

4.5.5. Tolerancia a la contaminación

Se observó que en los lugares donde se registró la pitahaya en la ZMVM, está bien adaptada, por lo que presuponemos una aceptable tolerancia a la contaminación y a la

subsistencia sin mantenimiento. En un camellón de la Colonia Bosques de Aragón, de la ZMVM se encuentra trepada sobre un tutor vivo, a tres metros hacia cada lado del tránsito vehicular que en esta zona es intenso. Pero hacemos notar que el color de las plantas es más grisáceo, y las que están en la base, en contacto con la tierra, presentan visibles afectaciones, que suponemos se deben a roces de transeúntes y animales, guijarros y arenilla lanzados por los autos (Figura 4.9). en la Colonia Pantitlan, al oriente del D. F. se ubica un techo cubierto con esta planta, expuesto a niveles altos de contaminación (Figura 4.10).

Debe tomarse en cuenta la protección de las plantas en la base de los muros naturados con pitahaya, sobre todo cuando estén expuestos sobre vías públicas.



Figura 4.9. Tallos en la base de la planata registrada en un camellón.
Fuente: Imágenes tomadas en sitio (2010).



Figura 4.10. Pitahaya cubriendo una techumbre. Col. Pantitlan, D. F.
Fuente: Imágenes tomadas en sitio (2010).

4.5.6. Presencia histórica y cultural

Las referencias históricas de la piatahaya se encuentran desde los primeros relatos de los cronistas españoles llegado a Mesoamérica (Bravo-Hollis, 1978). Gonzalo Fernández de Oviedo y Valdés, Primer cronista de la Nueva España, en su *Historia General y Natural de las Indias*, hace referencia de las plantas cactáceas con que contaba este territorio. Específicamente al capítulo XXVI lo tituló: “**De los Cardones en que nasce la fructa que llaman pitahaya**”. Su presencia como producto agrícola y en diferentes postres y platillos es más importante en el sureste de México. En la Ciudad de México, no se encuentra registro significativo.

4.5.7. Comportamiento metabólico

MAC = CAM

En el metabolismo de algunas plantas existe una relación de equilibrio autorregulada entre los componentes físicos del medio y su metabolismo, teniendo como sustancia central el gas dióxido de carbono, que está presente y altamente concentrado en nuestra ciudad.

Este tema no es tan atendido por nuestra disciplina, y para la sustentabilidad - sostenibilidad puede ser una herramienta efectiva a favor del beneficio ecológico de la ciudad a través del conocimiento y aplicación adecuada de la vegetación, en este caso, a la naturación de envoltentes.

La importancia de ahondar desde una perspectiva bioclimática en el Metabolismo de Ácido Crasuláceo (MAC ó CAM por sus siglas en inglés), radica en que existe una estrecha relación entre la temperatura ambiente, la humedad relativa, el nivel de concentración de CO₂ en el ambiente y las fases metabólicas de las plantas CAM. De acuerdo a la manera en que se relacionan las variables, las plantas con este metabolismo regulan su capacidad de asimilar mayores cantidades de CO₂ del ambiente, y las fases en que lo hacen.

Este tipo de metabolismo se presenta en plantas crasuláceas y epífitas que viven en ambientes desérticos y medios epifíticos de la selva tropical seca. Aproximadamente el 7% de las 1,600 especies de cactáceas conocidas son epífitas, según Nobel y Hartsock (Ortiz, 1999).

Existen dos modalidades de este metabolismo de acuerdo con Ting y Lüttge (Ortiz, 1999); una variante de ellas es la:

MAC cíclica. Caracterizada por cambiar parcial o totalmente su patrón de absorción de CO₂ de la noche al día. Se presenta cuando las plantas tienen un buen abastecimiento hídrico.

MAC reducida. Esta segunda modalidad consiste en que las plantas cierran completamente sus estomas durante el día y la noche, desarrollando un recirculamiento interno de CO₂, con lo que consiguen respirar evitando la pérdida de agua por la transpiración. Este mecanismo se presenta cuando las plantas se encuentran bajo estrés hídrico severo.

En la típica planta MAC la absorción de CO₂ ocurre principalmente durante la noche; lo que resulta inverso a las nociones típicas acerca de la fotosíntesis, donde durante el día las plantas captan el CO₂ para generar nutrientes, liberando posteriormente O₂ al ambiente; relación de la que depende el desarrollo de la vida en este planeta (Ortiz, 1999).

La variante metabólica de éste género de plantas nos puede dar la posibilidad de aportar O₂ a los medios con saturación de CO₂ y aire viciado durante los períodos en que las demás plantas lo transpiran al medio ambiente, que en espacios exteriores urbanos y más en los interiores cerrados, es una preocupación de la disciplina bioclimática. Aún cuando la mayor cantidad de contaminantes en la Ciudad de México se produce durante el día.

4.5.8. Tolerancia a la Radiación

RFA = PAR

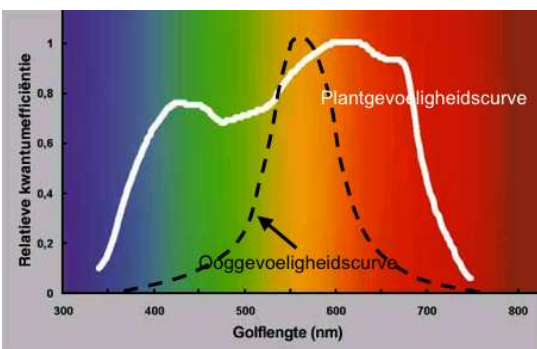
Para hacer un manejo adecuado de la vegetación incorporada a edificios, es preciso revisar los reportes agronómicos de la planta donde se especifiquen los niveles de RFA en los que puede tener un desempeño metabólico adecuado, con lo que obtendremos de ella los beneficios que buscamos en ella.

La Radiación Fotosintéticamente Activa (RFA) ó Photosynthetically Active Radiation (PAR), es la cantidad de radiación, dentro de un rango de longitudes de onda, que produce actividad fotosintética en una planta. El rango de las longitudes de onda está comprendido entre los 400 y los 700 nanómetros, que es similar al del espectro visible (Ciencia y Biología, 2010).

La radiación que incide sobre la tierra es de diferentes longitudes de onda y características de partículas. Los rayos X, la radiación UV, la luz visible, la radiación IR, las ondas de radio o televisión y la radiación térmica son diferentes radiaciones electromagnéticas. Sólo una pequeña parte de las radiaciones electromagnéticas, denominada radiación visible o luz, es visible para el ojo humano. La radiación visible abarca longitudes de onda comprendidas entre los 380 nm (color violeta) y los 780 nm (rojo lejano) y representa el espectro visible completo (Gráfica 4.1).

La planta percibe la luz de una forma muy distinta que las personas. La sensibilidad de las plantas a los colores oscila entre el 57 %, en el caso del componente azul de la luz, y el 100 %, en el caso del componente rojo. Por ejemplo, la dominancia de luz roja (alrededor de 650 nm), apenas resulta visible para el ojo humano, sin embargo, es un segmento ante el que las plantas son especialmente sensibles y les permite gran actividad fotosintética (Hortilux, 2010).

Las unidades métricas de la RFA son los $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, y los micro Einsteins $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$. La más utilizada es la primera de éstas.



Gráfica 4.1. Rango de actividad fotosintética

La línea punteada corresponde al espectro visible para el ojo humano. La línea blanca corresponde a la actividad fotosintética respecto al espectro.

Fuente: (Hortilux, 2010).

4.5.8.1. Medición

La radiación útil para el crecimiento vegetal debe medirse con un medidor de luz quantum que da la lectura de la radiación fotosintéticamente activa (PAR) en el rango de 400 a 700 nm, y considerando los niveles de trabajo del espectro de color de la luz sobre la actividad metabólica. Algunos modelos manuales de fácil utilización trabajan con un rango de 0 a 2000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$.

Las estaciones meteorológicas normalmente miden la radiación en W/m^2 , de donde se obtiene la radiación global incidente. De ésta, sólo aproximadamente el 45% es utilizada por las plantas en el proceso de fotosíntesis. En la medición hecha por un solarímetro o por un piranómetro, la luz azul del espectro contiene más energía que la luz roja (la generación de luz azul requiere 1,75 veces más energía que la de luz roja) por lo cual el solarímetro le asigna un valor más alto, mientras la planta hace justo lo contrario, lo que hace notorio que debe considerarse siempre la medición de la Luz Quantum, o RFA (Hortilux, 2010).

4.5.8.2. Unidades de medida

Mencionamos ya que la unidad básica de medida de la RFA es el $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, que de igual manera en los estudios agronómicos y biológicos de cada especie vegetal es una unidad de medida común. Para el campo de la Bioclimática, los registros de la radiación incidente sobre el sitio de análisis son manejados normalmente en $\text{Watt m}^{-2} \text{h}^{-1}$. De la misma manera en los cálculos de incidencia de radiación sobre los diferentes planos de la envolvente de un edificio se manejan en esta unidad de medida.

La radiación electromagnética contiene pequeñas partículas, llamadas fotones. Los fotones inciden sobre la planta para activar la clorofila de las hojas, generando –junto con otros agentes- el crecimiento de la planta. Una cantidad determinada de fotones activa el mismo número de moléculas de clorofila. Por lo que la cantidad exacta de fotones que dispongamos para la planta estará directamente relacionada con su crecimiento. La relación se puede expresar sencillamente de la siguiente manera 1 % de RFA = 1 % de crecimiento. Si tuviéramos como objetivo estimar el crecimiento de las plantas en relación a la luz quanta recibida, existen medidores capaces de realizar la conversión de unidades de fotones contra unidades de crecimiento, se llaman cuantómetros, y el número de fotones por m^2 se expresa en $\mu\text{mol/m}^2.\text{sec}$ (Hortilux, 2010).

4.5.8.3. Manejo de unidades

Existen varias unidades de conversión que por facilidad se manejan en algunas tablas simplificadas, y dependen del tipo de luz que se maneje para propiciar fotosíntesis en las plantas. En invernaderos, dependiendo del tipo de lámpara, su wataje y luminancia, se estima la cantidad de luz quantum aportada. Igualmente de la luz natural se han generado tablas simplificadas.

Para convertir la suma global de la radiación solar incidente en Luz Quantum la relación de trabajo es:

$$1 \text{ W m}^{-2} \text{ s}^{-1} = 2.15 \text{ } \mu\text{mol m}^2 \text{ s}^{-1}$$

Debido a que el objetivo de la presente investigación es tener disponibles unidades de trabajo aplicables al campo de la disciplina Bioclimática y del control térmico, se utilizará un valor de conversión ágil simplificado en tablas, para evaluar a las plantas aplicadas en envoltentes verdes expuestas a la radiación exterior (Tabla 4.1).

RADIACIÓN GLOBAL W/m ²	RFA $\mu\text{mol m}^2 \text{ s}^{-1}$	LUX
10	21.5	400
50	108	2150
100	215	4500
150	323	7060
200	430	10100
250	538	13900
300	645	20200
400	860	34700
500	1075	44600
600	1290	55200
700	1505	67000
800	1720	79400
900	1935	94000
1000	2150	106000

Tabla 4.1. Equivalencias de trabajo entre Radiación total, RFA y Lux
Fuente: (Hortilux, 2010).

4.6. Colecta de plantas (Pitahaya)

La especie vegetal analizada se consiguió en donación del jardín Botánico de la UNAM.

La Colecta se llevó a cabo el viernes 15 de enero de 2010, con la asesoría del biólogo Jerónimo Reyes del Instituto de Biología de la UNAM, desarrollándose con la siguiente secuencia:

1. Localización del banco de plantas dentro del Jardín Botánico.
2. Selección de los tramos aptos para ser esquejes.
3. Fueron cortados esquejes de aproximadamente 70 cm (ver dimensiones en tabla de registro) repartidos en tres. Unos ramificados y otros de un solo talla. Algunos se cortaron en la parte del tallo y otros en la parte de las areolas.
4. Transportación en una caja plástica.

Las plantas se encontraron en un banco asentado sobre un adarbe formado por uno de los muros de contención de piedra volcánica negra del Jardín Exterior de Cactáceas. Algunas de las plantas ya se encontraron con desarrollo sobre los muros.

De las plantas colectadas, 15 ya tenían aparición de raíces adventicias en los espacios intercostales, aún sin adherirse a ninguna superficie.

4.6.1. Registro de individuos vegetales

Se llevó a cabo el registro de las condiciones físicas de los 30 esquejes que se recibieron en donación (Tabla 4.2)

Valores registrados

PLANTA núm.	LONGITUD (cm.)	RAÍZ presencia	RAÍZ brotes	TALLOS cantidad	COLOR verde	FOTO núm.	PESO gramos
01	82	si		3	oscuro	8	
02	95	si		1	claro	9	
03	75	no		1	claro	10	
04	88	si	1	2	claro	11	
05	88	si	1	2	claro	13	290.63
06	80	no		2	medio	14	
07	104	si		2	claro	15	
08	75	no		3	oscuro	16	
09	86	si	3	2	claro	17	
10	66	no		3	amarillo	18	
11	70	si	1	2	amarillo	19	
12	83	si	2	3	claro	20	
13	90	no		2	claro	21	
14	100	si	2	1	amarillo	22	185.92
15	76	no		2	claro		
16	83	no		2	claro		
17	86	si	1	2	oscuro		
18	76	no		1	claro		
19	83	no		2	claro		
20	70	no		2	claro		
21	90	no		2	claro		
22	80	no		2	oscuro	29	
23	90	si	1	2	oscuro	30	
24	77	no		1	claro	31	
25	80	si	1	2	claro		
26	83	si	1	2	claro		
27	90	si	1	2	claro		
28	67	si	2	2	claro		
29	64	no		1	oscuro		166
30	73	si	1	3	amarillo		
31	65	no		3	oscuro		339.09

Tabla 4.2. Registro de características de plantas colectadas.

Las plantas marcadas con color verde son los 20 individuos que se incorporaron al Modelo Físico de Evaluación Térmica. Se anota el peso solo de tres esquejes, que serán los que se medirán para considerar la densidad del material vegetal.

4.7. Densidad del material vegetal

Se llevó a cabo la estimación de la densidad de la vegetación utilizada en el modelo experimental, mediante la obtención de su volumen a través del principio de Arquímedes. Ya

anteriormente se obtuvo el peso de los esquejes, de donde se obtuvieron los siguientes datos de trabajo.

4.7.1. Unidad de masa. Peso por esqueje

1. Esqueje núm. 5 290.63 gr.
2. Esqueje núm. 14 185.92 gr
3. Esqueje núm. 29 166 gr
4. Esqueje núm. 31 339.09 gr.

4.6.1.1. Pesaje de esquejes

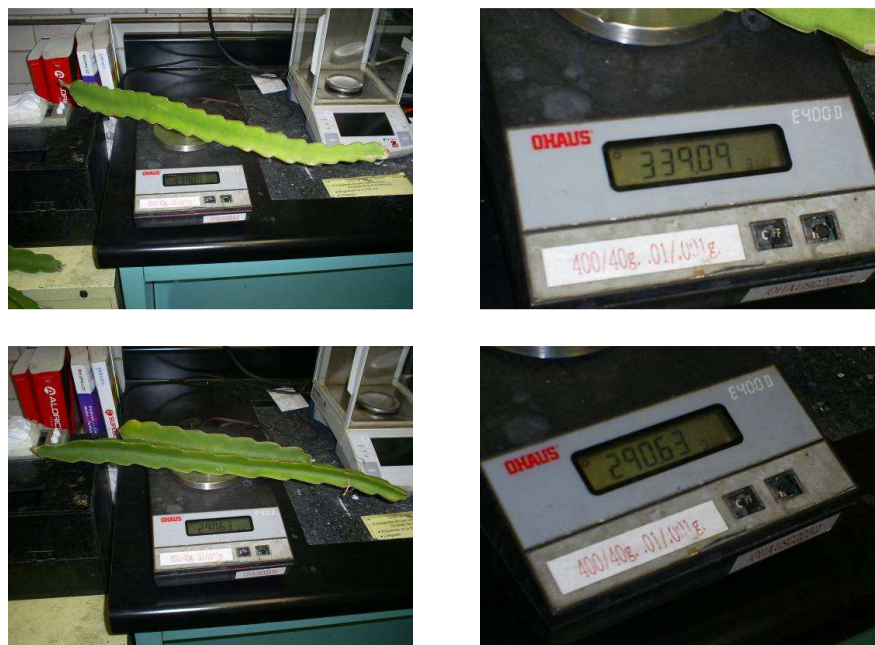
Se llevó a cabo el pesaje de 4 esquejes. Tres de ellos (núm. 5, 14 y 29) colectados en el Jardín Botánico de la UNAM a una Altitud de 2,323 msnm; Precipitación media anual de 990.5 mm; Temperatura media anual de 15.4°C SMN-EAP, 2010). Y un esqueje más (núm. 31) colectado en un domicilio particular de la colonia Juárez en Ciudad Nezahualcóyotl, Edo. de México, a una altitud de 2 278 msnm; Precipitación normal anual de 663.3 mm (SMN-ENZ, 2010), Temperatura media anual de 15.8°C. Sin datos de H. R. disponibles (INAFED, 2010).

Con estos datos, y el volumen se determina la densidad de estas plantas, con la ecuación

$$\rho = \frac{m}{V} \text{ expresado en g/cm}^3$$

El pesaje de individuos se llevó a cabo seleccionando un esqueje de constitución delgada, uno medio y dos robustos, esto dentro de los parámetros de los 30 con que se cuenta.

Se pesaron en el Laboratorio de Química de Materiales de CBI de la UAM Azcapotzalco, con una balanza de precisión marca OHAUS, Mod. E400D, con una capacidad de 400/40 g y precisión de 0.01/0.006 g (Figuras 4.11 a 4.14).



Figuras 4.11 a 4.14. Pesaje de esquejes en laboratorio.
Fuente: Imágenes tomadas en sitio.

4.7.2. Volumen por esqueje

Para la obtención del volumen de cada planta se fabricó un recipiente de vidrio de 3 mm. de espesor con medidas de 70 x 19 x 19 cm. de alto. Las medidas del recipiente se propusieron de acuerdo al tamaño de la planta más chica que se midió. El área de la base del recipiente en centímetros, que se multiplicará por los milímetros desplazados es: $70 \times 19 = 1,330 \text{ cm}^2$.

4.7.3. Proceso de medición

1. Se niveló el recipiente de vidrio con un nivel de burbuja, para asegurar que el espejo de agua con que se calculará el volumen se desplace de manera uniforme y arroje una medición confiable.
2. Al recipiente se le vertió agua a una temperatura de 15°C , en cantidad suficiente para cubrir completamente el cuerpo de los esquejes que se midieron. Éste fue el único criterio que se siguió para la cantidad inicial de agua usada.
3. Una vez que se colocó la cantidad de agua de trabajo, se adhirió un escalímetro a la superficie frontal del recipiente, haciéndose coincidir con precisión el cero (inicio de la escala métrica 1:100) con el espejo de agua en absoluto reposo.
4. Se midió el esqueje núm. 29, cuidando que el total de su volumen quedara sumergido en el agua. Se detuvo en el fondo del recipiente con unas tijeras para evitar que flotara. Se esperó hasta que el espejo de agua estuviera en reposo absoluto y se llevó a cabo la

medición de milímetros de volumen de agua desplazada. Se tomó la lectura de 1.25 mm (Figuras 4.15).



Figura 4.15. Medición de volumen. Fuente: Imagen tomada en sitio.

5. Se midió el esqueje núm. 5, cuidando que el total de su volumen quedara sumergido en el agua. En este caso, por tener una longitud mayor a la del recipiente, la planta se seccionó en dos. Las dos partes se introdujeron al fondo del recipiente fijándolas con unas tijeras para evitar que flotaran. Se esperó hasta que el espejo de agua estuviera en reposo absoluto y se llevó a cabo la medición de milímetros de volumen de agua desplazada. Se tomó la lectura de 2 mm (Figuras 4.16 a 18).



Figura 4.16. Corte.

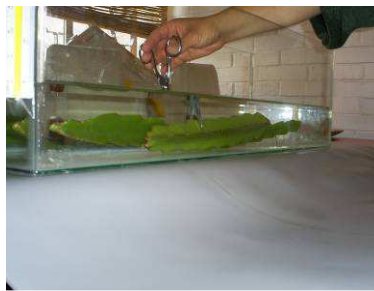


Figura 4.17. Estabilización



Figura 4.18. Volumen total

6. Se midió el esqueje núm. 14, cuidando que el total de su volumen quedara sumergido en el agua. En este caso, por tener una longitud mayor a la del recipiente, la planta se seccionó en dos. Las dos partes se introdujeron al fondo del recipiente fijándolas con unas tijeras para evitar que flotaran. Se esperó hasta que el espejo de agua estuviera en reposo absoluto y se llevó a cabo la medición de milímetros de volumen de agua desplazada. Se tomó la lectura de 1.5 mm (Figuras 4.19 a 21).



Figura 4.19. Corte.



Figura 4.20. Estabilización



Figura 4.21. Volumen total

7. Se midió el esqueje núm. 31, cuidando que el total de su volumen quedara sumergido en el agua. Se introdujo al fondo del recipiente fijándolo con unas tijeras para evitar que flotara. Se esperó hasta que el espejo de agua estuviera en reposo absoluto y se llevó a cabo la medición de milímetros de volumen de agua desplazada. Se tomó la lectura de 2.2 mm.

Resultado

En verde se resalta el valor más alto de densidad medida, que corresponde al esqueje núm. 31, más pesado, con una constitución muy compacta, y coloración verde oscuro intenso, longitud de 65 cm. de una pitahaya que crecía sobre un muro poniente, en un claustro, plantado en una jardinera de tierra negra. En color canela se resalta la densidad más baja que corresponde a la planta de constitución más delgada, colectada en campo abierto sobre suelo rocoso, con color amarillo (Tabla 4.3).

Esqueje núm.	Peso en gr.	mm. desplazados	Volumen cm^3 (cm. x 1,330 cm^2)	Densidad gr. / cm^3
29	166	1.25	166.25	0.998
5	290.63	2.00	266	1.092
14	224	1.50	199.5	1.12
31	339.09	2.2	292.6	1.158

Tabla 4.3. Volúmenes y Densidades obtenidos

De esta prueba se concluye que hay un margen de error importante en las mediciones ya que las plantas presentaron flotación, lo que significa que su densidad debe ser necesariamente menor que la del agua, y en tres de los casos se obtiene un valor mayor, por lo que se repetirá la prueba con un envase de meno área superficial.

Se presenta una tabla comparativa de densidades de otros materiales (Tabla 4.4).

Sustancia	Densidad (g/cm ³)
Aire	0.0013
Plumas	0.0025
Madera (Roble)	0.6 - 0.9
Hielo	0.92
Agua	1.00
Ladrillos	1.84
Aluminio	2.70
Acero	7.80
Plata	10.50
Oro	19.30

Tabla 4.4. Densidad de Algunas Sustancias Comunes
Fuente: (Miliarium, 2004).

La densidad del agua es la unidad de comparación más representativa, y con respecto a esta, que tiene una densidad igual a 1g/cm³.

A pesar de haber realizado las medidas con el mayor cuidado posible, para reducir el margen de error en la medición, se realizó otra medición de una muestra de una planta en un contenedor del menor diámetro posible.

La prueba se llevó a cabo con el esqueje 29, que para el momento de la prueba presenta una coloración verde oscuro, constitución media. De esta planta se tomó un corte longitudinal de 10 cm. El peso en laboratorio, fue de 42.5637g, tomado con una balanza analítica electrónica, marca OHAUS, modelo Voyager con rango de 110 g a 0.1 mg. Pesado en el Laboratorio de Química de Materiales, CBI, UAM Azcapotzalco (Figuras 4.22 a 24).



Figura 4.22. Pesaje



Figura 4.23. Medición



Figura 4.24. Medición

4.7.3.1. Corrección de Volumen y Densidad

El volumen y densidad obtenidos semuestran a continuación. Son los que se usarán en las simulaciones térmicas (Tabla 4.5).

Esqueje núm.	Peso en gr.	mm. desplazados	Volumen cm ³ (cm. x 52.8 cm ²)	Densidad gr. / cm ³
29 (10 cm)	42.6	9	47.5	0.89

Tabla 4.5. Unidaddes de masa obtenidas en las mediciones

Se puede concluir que la cercanía de la densidad de estas plantas con la del agua se debe a que el agua constituye el 80-90 % del peso fresco de muchas plantas herbáceas y más del 50% del peso fresco de las plantas leñosas (Cartagena, 2008) .

En las mediciones que realizamos para obtener los valores físicos de conductividad calorífica de la planta, se pesó la muestra en fresco. Se registró un peso de 14.1270g en una rodaja de corte longitudinal de aproximadamente 3 mm de espesor.

La misma muestra se dejó desecar hasta perder casi totalmente la humedad, registrándose un peso para la muestra ya desecada de 3.9678g, que corresponde a un 23% del peso de la muestra en seco.

Mostramos contenidos de agua en *Hylocereus* documentadas, junto con la obtenida en nuestras investigación (Tabla 4.6).

Especie	% de agua contenida	observación
<i>Hylocereus undatus</i> (tallo) ¹	72	Irrigación media; Tallo adulto.
<i>Hylocereus undatus</i> (tallo) ²	90	Planta bien irrigada: Tallos jóvenes y viejos.
<i>Hylocereus undatus</i> (tallo) ³	60	Irrigación media
<i>Hylocereus undatus</i> (tallo) ⁴	34	Planta en estrés hídrico
<i>Hylocereus ocamposis</i> (Fruto) ⁵	89.4	El resto del peso son nutrientes y cáscara.

Tabla 4.6. Contenido relativo de agua por planta.

Fuentes: ¹ Medido en esta investigación; ^{2, 3 y 4} Ortiz (1999); ⁵ Bárcenas (1998).

La medición que realizamos se llevó a cabo con una planta de las que registramos con talla mediana, igualmente su robustez es mediana comparada con los otros individuos, y el suministro hídrico no es abundante. La planta se midió en el mes de abril y al momento de

cortarse para hacer las mediciones se mantenía con un riego de aproximadamente $\frac{1}{2}$ l de agua a la semana, en esta época donde no se presentaron lluvias.

Se mencionan a continuación los contenidos de agua en otros tejidos vegetales expresado como porcentaje del peso de la planta, para tener una referencia (Tabla 4.7).

Especie	% de agua contenida
Pinus Banksiana (tallo)	61
Pinus echinata (madera)	60
Zanahoria (parte comestible)	88
Lechuga (hojas)	95
Manzana (fruto)	84

Tabla 4.7. Contenido de agua en tejidos vegetales
Fuente: (Kramer, 1974).

4.8. Estimación de RFA en nuestro sistema

Con el objetivo de evaluar el comportamiento de las plantas durante sus diferentes etapas de establecimiento se conservaron durante 3 meses, en un domicilio particular de la Colonia Valle de Aragón en la ZMVM, las 20 plantas del Modelo Térmico, más otras 12 plantas sembradas en macetas. Se observó su comportamiento y requerimientos de riego, fertilización, tolerancia a condiciones del exterior y enfáticamente su respuesta a la Radiación Fotosintéticamente Activa.

1. Las 20 plantas del modelo térmico se mantuvieron bajo un volado, y orientado su frente al norte. Bajo estas condiciones de asoleamiento se les suministró un riego de 1 litro de agua semanal. Las plantas se mantuvieron saludables, de color verde oscuro sin estrés hídrico, y con buena complexión. Igualmente sin ataque de hongos o putrefacción de tallo o base por exceso de humedad (Figura 4.25).
- 2.



Figura 4.25. plantas bajo volado



Figura 4.26. Planta en pared sur

Fuente: Imágenes tomadas en sitio, 2010.

2. Las otras 12 plantas se plantaron en macetas recargadas sobre un muro orientado al sur franco. Se tornaron cloróticas y adelgazaron su talla. Sin embargo, al comienzo del mes de abril, este grupo de plantas presentó brotes, mientras el grupo del modelo térmico no presentaba ninguno. Por lo que se infirió que los dos grupos estaban fuera de la RFA adecuada (Figura 4.126).

3. Se llevó a cabo un ajuste en las condiciones de los dos grupos de plantas. Las 20 del modelo térmico se pasaron al muro con frente al sur franco, a la vez que se les incorporó una malla sombra que redujo la incidencia de radiación de 98,000 a 64,700 Lux, que se traduce en el 34% de sombreado, que corresponde a su vez al porcentaje reportado por Ortiz (1999) como el grado de exposición a la radiación donde *Hylocereus* desarrolla su más rápido crecimiento. Esta cantidad de Lux de acuerdo a la tabla de conversión de valores de Hortilux (2010) corresponde aproximadamente a $1,500 \mu\text{Mol m}^2 \text{s}^{-1}$ concordantes con los $1,518 \mu\text{Mol m}^2 \text{s}^{-1}$ que reporta Ortiz (1999) como la RFA que recibida durante 3 horas al día permite una floración y fructificación plena para *Hylocereus undatus* (Figuras 4.27, 4.28 y 4.29).



Figuras 4.27, 4.28 y 4.29. plantas con 34% de sombreado.

Fuente: Imágenes tomadas en sitio, 2010.

Después de haber realizado la corrección de la RFA, las plantas de los 2 grupos han tenido brotes de ramificaciones que crecen a gran velocidad. Se ha registrado un crecimiento de hasta 6 cm longitudinales durante la semana del 21 al 28 de abril. Y crecimiento mensual de entre 13 y 17 cm.

4.9. Modelo constructivo

Se llevó a cabo el armado de un modelo de evaluación física, integrando en un primer momento los materiales más básicos que puede llevar el sistema de muro vegetal: una hoja de lámina, malla de polipropileno para tutorear las plantas y la vegetación *Hylocereus undatus* atada a la malla con mecahilo. La dimensión del modelo se dio tomando como base el tamaño comercial con que se vende la lámina, que es de 91.2 cm. además de estos materiales se incorporarán otros que complementan el sistema a probar, con la intención de dar a la planta y a la edificación condiciones adecuadas que les permitan una buena adaptación y funcionamiento. En la base tiene una canastilla para recibir las macetas

plásticas donde se plantaron los esquejes. Se le colocaron rodajas para facilitar su menaje. Descontando el área de la canastilla, quedó un área de medición de 91.2 x 76 cm (Figura 4.30).



Figura 4.30. Base de lámina utilizada
Fuente: Imagen tomada en sitio.

4.9.1. Conformación del modelo térmico

4.9.2. Materiales

4.9.2.1. **Estructura.** Perfil tubular cuadrado de acero *zintro* de $\frac{3}{4}$ " x $\frac{3}{4}$ " cal. 18.

- Lienzo: lámina de acero galvanizado cal. 20.

- Soldadura tipo 60/13. 550 g aplicados.

- Acabado: *primer* de cromato de zinc, acabado final de laca automotiva marca comex, color blanco brillante, 3 capas con compresora.

4.9.2.2. **Lámina.** Se determinó usar como material base una hoja sencilla de lámina lisa, por ser este uno de los materiales comerciales térmicamente más desfavorables, usados en la construcción, que encontramos con mucha frecuencia en bodegas, naves industriales, aulas escolares provisionales, oficinas provisionales de obra, y como lo mencionamos en el capítulo II, en gran cantidad de casas de la ciudad de México, tanto en techos como en muros. Tiene una conductividad muy alta. Se utilizó lámina galvanizada para evitar el ataque de humedad y óxido. En calibre 20 que es el menor calibre que puede ser soldado con una planta eléctrica común sin perforarla; se buscó el calibre menor posible como condición más desfavorable a ser mejorada.

4.9.2.3. **Malla de Polipropileno.** Se usa una malla con cualidades estructurales que tiene la función de sujetar la cortina de vegetación, mientras las plantas desarrollan su raíz autoadherente. Permite que una vez plantado el esqueje se sujete a la superficie de material ligero sin que sea intervenido, barrenado o dañado con alguna intervención. Igualmente

libera al elemento arquitectónico del peso de la planta al ser una malla estructural de alta resistencia a la tensión, evitando que se tenga que reforzar, y mandando el peso agregado por las plantas a los elementos estructurales como columnas o cerramientos, dependiendo de su resistencia. Al mismo tiempo, la malla sujetará las demás membranas que se integren al sistema de muro vegetal, definidas más adelante.

Se usó en este modelo una malla de polipropileno²¹ pretensada de resistencia de 20 kN/m, con capacidad de proporcionar refuerzo a la tensión, refuerzo por restricción lateral y refuerzo por efecto membrana, a bajos niveles de deformación, usada normalmente en sistemas de pavimentación, mejoramientos, terraplenes desplantados sobre suelos con baja capacidad de carga y pantanos. Tiene una resistencia a la tensión de 713.44 kg/m², con un margen de seguridad antes del punto de ruptura de 2,344.16 kg/m² (Tabla 4.7). Es un material con poca resistencia a la acción de los rayos UV, por lo que se utiliza con una cubierta de fibra de coco y la capa vegetal exterior. La malla tiene 1mm de espesor. Por cada 1 m² de malla tiene 34.16% de material y 65.84% restante de huecos. Tiene un peso de 3 Kg/m². Igualmente se tienen las propiedades físicas de este material (Tabla 4.8), así como sus propiedades mecánicas (Tabla 4.9).

Tabla 4.8. Propiedades malla de polipropileno

PROPIEDADES				BI-AXXIAL	BI-AXXIAL	BI-AXXIAL
PROPIEDAD	SENTIDO	UNIDADES	MÉTODO	20 kN	30 kN	40 kN
Resistencia a la Tensión en el punto de ruptura	Fabricación	kN/m	ISO 10319	20	30	40
	Transversal	"	"	20	30	40
Elongación a Ruptura	Fabricación	%	"	15	15	15
	Transversal	%	"	13	13	13
Resistencia a la Tensión @ 2% de Elongación	Fabricación	"	"	7	10.5	14
	Transversal	"	"	7	10.5	14
Resistencia a la Tensión @ 5% de Elongación	Fabricación	"	"	14	21	28
	Transversal	"	"	14	21	28
Longitud de Rollo				50	50	30
Ancho de Rollo				3.95	3.95	3.95

Fuente: (GPM, 2010).

Tabla 4.9. Propiedades físicas del polipropileno

Propiedad y unidad	Valor
Densidad (g cm ⁻³)	0,9
Calor Específico (J K ⁻¹ kg ⁻¹)	1700 - 1900
Conductividad Térmica a 23C (W m ⁻¹ K ⁻¹)	00,22
Resistencia a los Ultra-violetas	Mala

Fuente: (Goodfellow, 2010).

²¹ El polipropileno (PP) es un polímero termoplástico comercial, semicristalino, blanco, semiopaco, y que actualmente se elabora en una amplia variedad de calidades y usos. Un plástico termoconformado o técnico que básicamente se utiliza para la construcción de piezas que necesitan resistencia química, peso ligero y fricción suave. Es un material muy rígido y duro, que tiene una excelente resistencia al impacto, a los productos líquidos corrosivos y a la dieléctrica. El Polipropileno (PP) tiene una mayor rigidez, dureza y estabilidad que el polietileno.

Tabla 4.10. Propiedades mecánicas polipropileno

Propiedad	Unidad	Norma	Valor
Resistencia al impacto	KJ/m ²	DIN 53453	10
Resistencia a la tracción	N/mm ²	DIN 53455	33

Fuente: (Plasticbages, 2010)

4.9.2.4. **Planta *Hylocereus undatus*.** Se utilizaron 20 esquejes de entre 80 a 100 cm de longitud. La plantación se densificó para obtener una condición saturada de acomodo sobre la superficie de lámina, y dejar la menor cantidad posibles de lámina descubierta, para replicar una situación en que la planta recubra totalmente la superficie. Esta planta se seleccionó por los criterios descritos en el apartado de Paleta Vegetal. Mientras la planta genera sus raíces adventicias, se amarra con hilo vegetal a la malla. Igualmente, una vez establecida la planta, las nuevas ramificaciones se van guiando amarrándolas a la malla.

4.9.2.5. **Membrana de Fibra de Coco.** Se utiliza una cama orgánica entre la planta y la malla de polipropileno, para corresponder a los hábitos epífiticos de la planta, ya que normalmente busca materiales orgánicos o pétreos para establecerse. La membrana de coco, se fija en el sistema amarrada a la malla de polipropileno con mecahilo. Sobre la fibra de coco se sobrepone la planta. En el caso de nuestro modelo de trabajo, se utilizó una membrana de fibra de coco de 500g/m² con látex, espesor de 1 cm (medido sin comprimir). La fibra de coco es un material orgánico que no absorbe la humedad. Tiene buena capacidad de retención de agua entre su tejido y buena capacidad de oxigenación por lo que es muy usada en cultivo hidropónico. Para este material, en la presentación específica que utilizamos, se calculó una densidad de 0.873g/cm³. Contamos con los datos de propiedades generales y peso (Tabla 4.10). Así como de sus valores físicos (Tabla 4.11).

Tabla 4.11. Membrana de fibra de coco

PROPIEDADES				
BIOTEX COCO	Usos	Componente	Propiedad	Método
Uso rudo, 1.2 kg/m ²	Cubierta de suelo sin siembra, para promoción de vegetación nativa en vida latente. Posee alta cobertura del suelo y alta absorción de agua. Puede requerir refuerzo BX.	Biodegradable	Fibras de coco no tejidas, con masa de 1 kg/m ²	ASTM D 5261 mod.
500 g/m ² , con látex	Cubierta contra erosión e intemperización en cortes de hasta 90°. Puede utilizarse sin refuerzo si no se requiere contención de caídos. Contiene impregnación con látex para impartirle resistencia mecánica		Fibras de coco no tejidas, con masa de 500 gr/m ²	
300 g/m ² , con látex	Protección de suelo preparado e implantado con semilla, en taludes de hasta 45°. Encapsulamiento de la cara de muros y taludes estabilizados mecánicamente, con cara vegetada. Posee alta porosidad para permitir el crecimiento de semillas delicadas.		Fibras de coco no tejidas, con masa de 300 gr/m ²	

Fuente: (GPM, 2010).

Tabla 4.12. Propiedades físicas Fibra de Coco

Características Técnicas	
Densidad (de esta presentación)	50 kg/m ³
Materia orgánica	89%
Porosidad total	94%
*Conductividad térmica (de la fibra en sí)	0,043 a 0,045 W/m ² **

Fuente: (RIVERFILCO, 2010).

*Fuente: (SD., 2010).

** Este valor de Conductividad es de la fibra. El valor de conductividad de la fibra en arreglo de membrana como la usamos, se obtuvo por método experimental y se describe más adelante.

4.9.2.6. Membrana de Poliéster. Se utiliza sobre la malla de polipropileno, amarrada a ella para cumplir varias funciones simultáneas: se aprovecha su alta capacidad de resistir los rayos ultravioleta y proteger la malla de polipropileno; a la vez estará sirviendo como respaldo térmico para la planta, ya que por lo general *Hylocereus* busca establecerse sobre materiales que le den estabilidad térmica como materiales pétreos u orgánicos; de la misma manera, esta membrana retendrá la humedad ya sea de lluvia o de riego, para cederla a la planta. Se cuenta con sus propiedades generales (Tabla 4.12). Igualmente con sus propiedades físicas bibliográficas (Tabla 4.13).

En este modelo se utilizó una membrana de poliéster que es un filtro sintético no biodegradable compuesto por fibras de Poliéster (PETP)²². Tiene un espesor de 3 mm. Con una densidad de 0.132 g/cm³.

Se fabrica utilizando fibras provenientes del reciclado post-consumo de botellas de PET. Por cada m² de este material utilizado, se evita que lleguen a la basura, 17 botellas de 400 ml (GPM, 2010).

4.13. Propiedades promedio del poliéster

<i>Masa por unidad de área²</i>	<i>350 g/m²</i>	<i>ASTM D 5261-92</i>	<i>Valor índice</i>
<i>Espesor¹</i>	<i>2 mm</i>	<i>ASTM D 5199-91</i>	<i>Valor para diseño (1)</i>
<i>Permisibilidad @ 50 mm</i>	<i>0.6 s⁻¹</i>	<i>ASTM D 4491</i>	<i>Valor para diseño (1)</i>
<i>Abertura Aparente (O₉₅)</i>	<i>0.075 mm</i>	<i>ASTM D 4751</i>	<i>Valor Índice</i>
<i>Abertura Aparente (AOS)</i>	<i>malla 200 US Standard</i>	<i>ASTM D 4751</i>	<i>Valor Índice</i>
<i>Resistencia a la Tensión</i>	<i>1.3 ton/m</i>	<i>ASTM D 4595-86</i>	<i>Valor para diseño (2)</i>
<i>Elongación</i>	<i>88 %</i>	<i>ASTM D 4595-86</i>	<i>Valor para diseño (2)</i>
<i>Rasgado Trapezoidal</i>	<i>42 kgf</i>	<i>ASTM D 4533-91</i>	<i>Valor índice</i>
<i>Resistencia a Perforación</i>	<i>31 kgf</i>	<i>ASTM D 4833-88</i>	<i>Valor índice</i>

Fuente: (GPM, 2010).

²² La Fibra Poliéster es un material sólido con gran elasticidad y acolchonamiento fabricada a base de PET reciclado. A través del reciclaje se puede producir fibra de alta calidad a partir de hojuela de PET o de mezcla de hojuela con fibra. La Fibra Poliéster es utilizada para la elaboración de varios productos.

Tabla 4.14. Propiedades Físicas y térmicas del Poliéster

Densidad (g.cm^{-3})	10
Resistencia a los Ultra-violeta	Bueno
Calor específico ($\text{JK}^{-1} \cdot \text{Kg}^{-1}$)	1200 - 1350
La conductividad térmica ($\text{Wm}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)	0.15-0.4 @ 23

Fuente: (AZ, 2010)

4.9.2.7. Membrana impermeabilizante de PVC. Es una membrana impermeabilizante que se incorporará entre la vegetación y las membranas antes descritas, y la superficie arquitectónica cuando ésta sea vulnerable a la presencia de humedad durante los meses de lluvia, y sobre todo, siempre que se incorpore al sistema la membrana de poliéster. Asimismo, se incorporará cuando el clima de la región sea húmedo y la retención de humedad sobre el elemento arquitectónico sea indeseable. En estos casos actúa como barrera de vapor.

En caso de no considerarse necesario, se podrá sustituir por otro sistema de impermeabilización. Sin embargo, para el caso analizado en este trabajo, como la vida productiva de las plantas evaluadas (*Hylocereus*) puede durar de los 30 años en adelante, se considera pertinente integrarlo para evitar mantenimiento en los elementos arquitectónicos. De esta manera se cumplirá uno de los objetivos de la naturación que es disminuir los gastos en impermeabilización; Por esto mismo, aún cuando este es el elemento más costoso de los que se incorporan, diferido en los años de uso, el gasto resulta menor al tradicional.

Para el presente modelo se utilizó una membrana de PVC en base a laminaciones de Poli Cloruro de Vinilo Plastificado, que se utiliza como barrera de muy baja permeabilidad. Esta membrana cuenta con 1 mm de espesor. Su peso en rollo por metro cuadrado es de 1.45 Kg/m^2 , sin embargo, debido a que se coloca con traslapes de 20 cm, en cada metro se suman 0.56569 Kg/m^2 , dando un total de 2 Kg/m^2 . Sus propiedades generales se describen adelante (Tabla 4.14), así como sus propiedades físicas (Tabla 4.15).

Tabla 4.15. Propiedades mecánicas de la Membrana de PVC

<i>PROPIEDAD</i>	<i>UNIDADES</i>	<i>VALOR</i>	<i>MÉTODO</i>
<i>Peso Específico</i>		<i>1.22 – 1.26</i>	<i>ASTM D 792-86</i>
<i>Dureza</i>	<i>Shore “A”</i>	<i>83</i>	<i>ASTM D 2240-86</i>
<i>Resistencia a Ruptura</i>	<i>kg/cm²</i>	<i>160 mínimo</i>	<i>ASTM D 639-89</i>
<i>Elongación</i>	<i>%</i>	<i>330 mínimo</i>	<i>ASTM D 638-89</i>
<i>Permeabilidad</i>	<i>cm/s</i>	<i>10^{-12}</i>	<i>Valor bibliográfico</i>

Fuente: (GPM, 2010).

Tabla 4.16. Propiedades físicas PVC

Densidad	1,37 a 1,42 kg/dm. ³
Calor Específico (J K ⁻¹ kg ⁻¹)	1000-1500
Conductividad térmica	35x10-5 Cal x cm / (cm ² xsx°C
Peso	1.45 kg/m ²

Fuente: (Plasticbags, 2010).

4.9.2.8. Maceta plástica. Se utilizaron 2 Macetas de plástico, de fabricación israelí, para riego por goteo. Mismas que se han acoplado a este modelo por la facilidad de encontrarlas en una tienda común. Posteriormente para la integración del sistema podrá ser bajo diseño o incluso con reuso de materiales en caso de bricolaje.

4.9.2.9. Sustrato. Se utilizó una mezcla de tierra negra – tepojal en proporción de 60:40. Ambos materiales conseguidos en Xochimilco. La tierra negra es requerida por la planta debido a que necesita suelos ricos en materia orgánica en una primera etapa de establecimiento. El tepojal es conveniente para dar un suelo bien drenado y aligerar el sistema.

Proceso de armado de modelo

4.9.2.10. Materiales del modelo térmico

Los materiales del sistema básico e usaron en el modelo constructivo (Figuras 4.31.A a 4.40).



Figura 4.31.A. Estructura base

Figura 4.32. Malla de polipropileno



Figura 4.33. Amarre de plantas a malla



Figura 4.34. Armado básico



Figura 4.35. Membrana de Coco



Figura 4.36. Membrana de Poliéster



Figura 4.37. Membrana de PVC



Figura 4.38. Dren prefabricado *



Figura 4.39. Sustrato: tierra - tepojal, 60:40

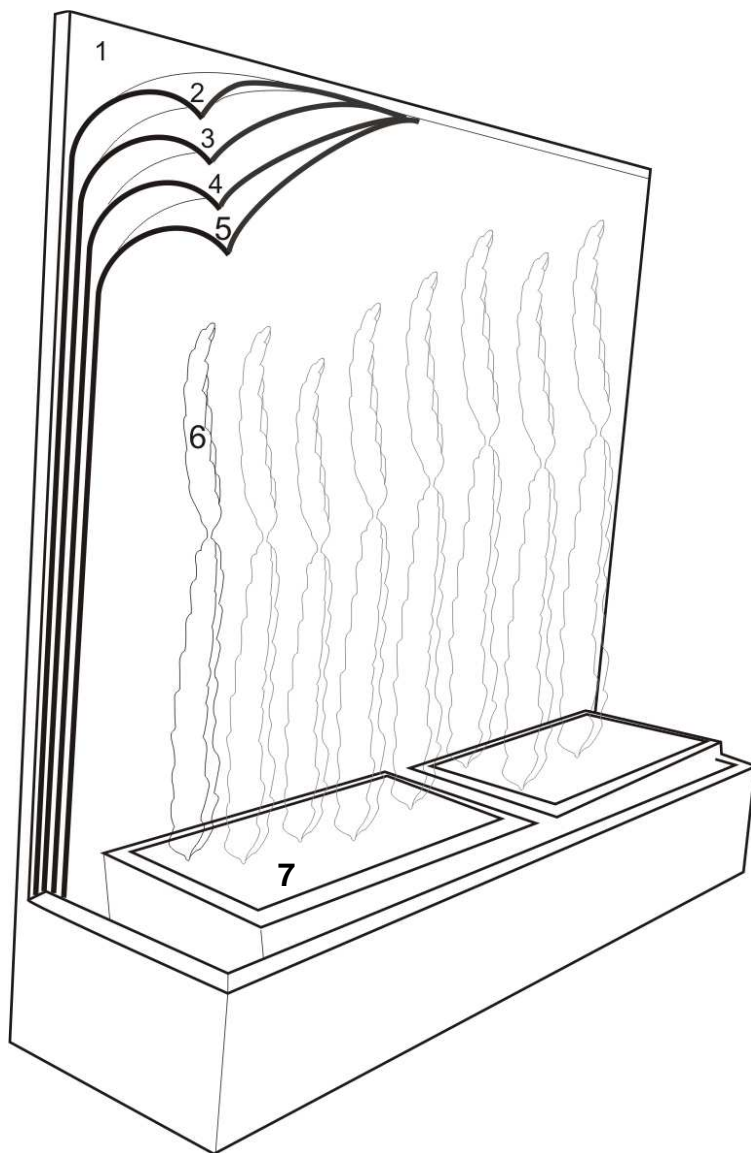


Figura 4.40. Maceta

* Este material no se utilizó en el modelo cnstructivo, pero se midieron sus propiedades térmicas y se incorporó al modelo virtual de Design Builder.

4.9.3. Arreglo constructivo

Esquema preliminar (Figura 4.31.B).



Nomenclatura

1. Base de lámina galvanizada cal. 20
2. Membrana impermeable de PVC
3. Membrana de Poliéster
4. Malla de Polipropileno
5. Membrana de Fibra de Coco
6. Vegetación
7. Macetas

Notas

* El amarre entre capas puede darse con cinturones de alambre galvanizado o acerado.

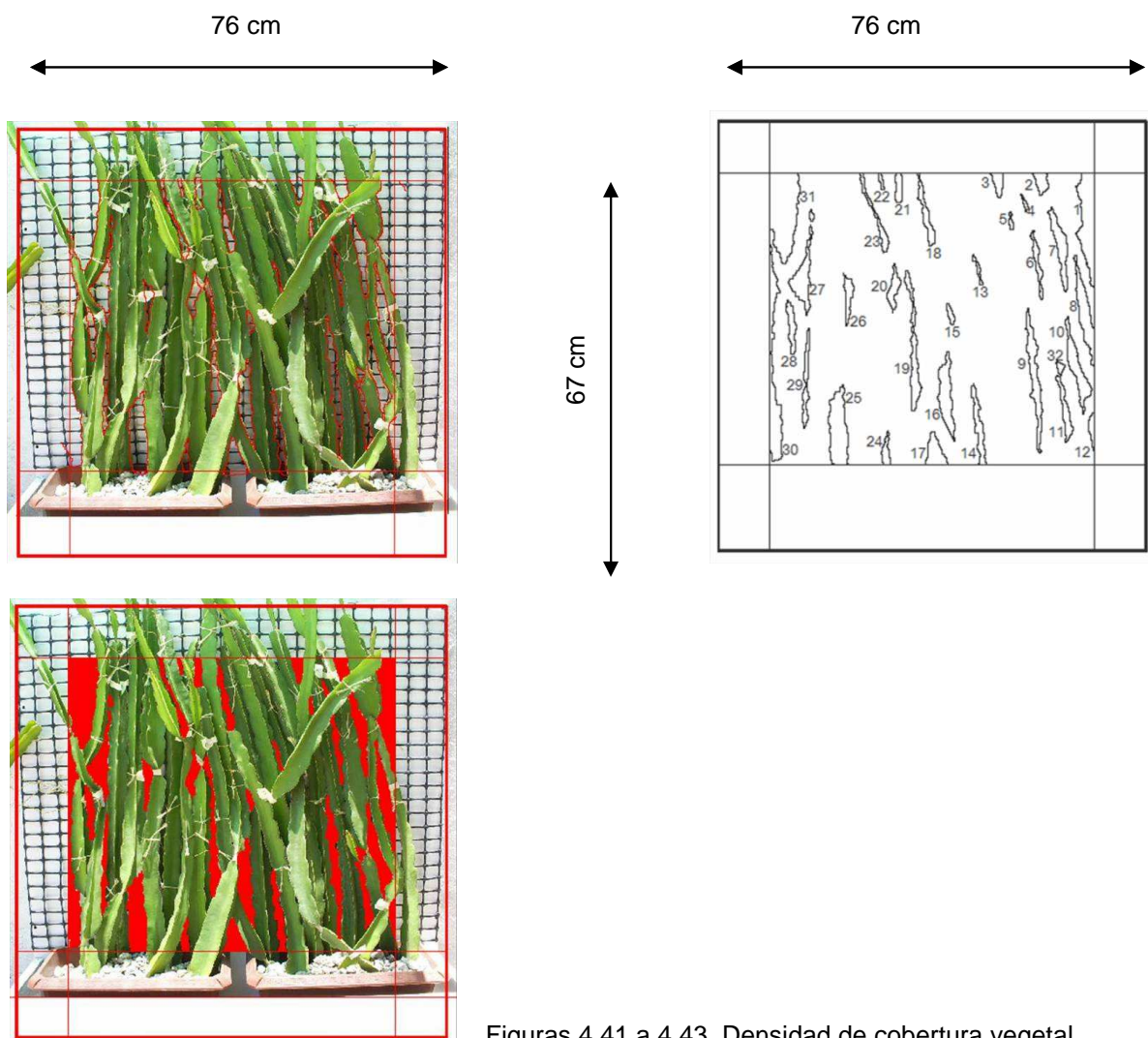
** El amarre de las plantas es con mecahilo, mientras establecen sus raíces autoadherentes.

Figura 4.31.B. Sistema que integra todos los materiales, en el caso más desfavorable

4.9.4. Densidad de Cobertura

4.9.4.1. Muro

Se analiza una superficie de 76 x 67 cm que aportan un área de 0.5 m², tomados como referencia de la cobertura que puede tener este tipo de vegetación aplicada en un muro, para tener un estimado de la Densidad de Cobertura real por metro cuadrado que puede aportar. Este dato servirá para modelar un elemento arquitectónico en 3D, que se aplicará al modelo de evaluación térmica en Design Builder (DSB,2010) (Figuras 4.41 a 43).



Figuras 4.41 a 4.43. Densidad de cobertura vegetal

Se registran 32 huecos sin cobertura de vegetación en muro, que analizadas sus áreas en Autocad (Autodesk, 2007), suman un total de 0.0838 m², dentro del área de 0.5 m². Corresponden al 16.76 % \approx 17 % sin cubrir. Esto considerando una capa simple de vegetación, que es la misma que tendría respaldo directo sobre el muro. Esta planta tiene igualmente la posibilidad de mantenerse sin necesidad de adherir su raíz, por lo que se

pueden lograr dos capas de cobertura vegetal más densas al ser superpuestas, siempre que se procure el amarre de los tallos a la malla de polipropileno. Por esta razón, con las siguientes capas de vegetación se puede reducir el porcentaje de los huecos sin cobertura, dependiendo del acomodo que se haga mediante el tutorado, para la construcción real del sistema, y del acomodo del elemento constructivo representativo en el modelo de simulación térmica.

La planta suele acomodarse en capas superpuestas bajo condiciones reales (Figura 4.44).



Figura 4.44. Pitahaya en camellón de la Colonia Bosques de Aragón, ZMVM.

Para obtener esta Cobertura de se debe plantar 1 planta a cada 3.8 cm, por lo que para cubrir 1m^2 se requieren de $26.3 \approx 27$ plantas, que serán sembradas en tresbolillo para evitar con esto la competencia por el sustrato y la saturación del mismo con el desarrollo de la raíces.

Tabla 4.17. Relación de peso por cm longitudinal en diferentes individuos vegetales

PLANTA núm.	LONGITUD (cm.)	COLOR verde	PESO gramos	PESO @ 1 cm longitudinal en gramos
5	88	claro	290.63	3.30
14	100	amarillo	185.92	1.86
29 (ene.)	64	oscuro	166	2.6
31	65	oscuro	339.09	5.22
29 (abr.)	10	oscuro	42.56	4.25

Fuente: Medido en esta investigación

Promediando los valores de la tabla anterior se obtiene un valor de 3.4 g por cada centímetro longitudinal de planta, que para una planta de 1 metro suma un peso de 340g por planta.

Para efectos de diseño se tomará el valor más alto, considerando que las plantas pueden llegar a tener el mayor contenido de agua en el mes de julio, que es el de mayor precipitación media para la Ciudad de México; es igual a 5.22 g @ cm_l = 522 g @ m_l

Se propone una sencilla ecuación para obtener el peso del sistema por cada capa vegetal:

$$(N_p \times m_l) (L \times 0.522) \text{ en kg/m}^2$$

Donde:

N_p = Número de plantas. En este caso 27 plantas de 1 m longitudinal

m_l = metro lineal horizontal a cubrir (en metros)

L = Longitud vertical de las plantas (en metros)

0.522 Kg = relación constante de peso en Kilogramos por cada cm lineal de planta.

Por lo que $N_p \times 1m_l \times .34 \text{ Kg} = 27 \times 1 \times 0.522 = 14.1 \text{ kg/m}^2$

El muro verde con dos capas de vegetación arroja un total de 28.2 kg/m².

A este peso se deberá sumar el peso de los demás componentes del sistema, que se describen posteriormente.

Las plantas aportan este peso, que en el caso de de edificaciones de hasta 3 niveles, con posibilidad de tener una jardinera a pie de terreno, que no necesitenagregar más elementos del sistema será el peso sumado a la estructura arquitectónica.

4.8.4.1. Azotea

El caso de la cubierta es más libre, debido a que la planta analizada se desarrolla igualmente con hábitos de crecimiento rastreros. Pueden ir desarrollándose desde un punto de plantación hacia los bordes de la zona de crecimiento.

En base a los reportes de manejo agronómico de la planta hechos por Bárcenas (1998) los tallos de *Hylocereus* responden de manera favorable plantados en el esquema conocido como *Emparrado*, que consiste en crecimiento en camas de la planta que es plantada en contenedores en el centro de la cubierta. Este esquema es aplicable en los casos donde las cumbreras, dinteles o cerramientos así lo permitan. Cuando no, puede plantarse en los perímetros para dejar el claro de la cubierta sin el peso de los maceteros. En ambos casos se deja crecer la planta hacia la zona a cubrir.

En cubiertas, igualmente se deberá considerar un peso aportado por la vegetación de: $(N_p \times m_l) (L \times 0.522) \text{ en kg/m}^2$

Considerando que se reduce la necesidad de contar más espacio de soporte por planta para su adherencia (como en el caso del muro), para una cubierta se puede utilizar 30 plantas por m², que arrojan un peso de $(N_p \times m_l) (L \times 0.522 \text{ Kg}) = 30 \times 0.522 = 15.55 \text{ kg/m}^2$ por cada

capa de vegetación que se integre. Si manejamos la planta en 4 capas, aportará un peso a la cubierta de 62.2 kg/m^2 . A este peso se suma el peso de los demás componentes del sistema, que se describen más adelante.

Estos parámetro se usarán como criterio para realizar el análisis de los modelos térmicos en Design Builder (DSB, 2009).

La pitahaya en estado natural se encuentra frecuentemente establecida con hábitos de epífita enraizada en el suelo, como fue registrado en el Jardín Botánico de la UNAM y en una cubierta de la Colonia Pantitlán, en la zona oriente del D. F. (Figuras 4.45 y 46).



Figura 4.45. Pitahaya en Jardín Botánico



Figura 4.46. Planta en el techo de una casa.

4.9.5. Peso del sistema (en seco)

Una vez realizadas las mediciones y los registros de la planta y los materiales que se integran al sistema obtenemos su peso en muro (Figuras 4.17) y cubierta (Figuras 4.18).

Tabla 4.18. Peso del sistema en Muro

Elemento	Peso kg / m ²			
	material	1 capa vegetal	2 capas vegetales	observaciones
Plantas	14.1	14.1	28.2	
Membrana PVC	2	5.850	5.850	
Malla Polipropileno	3			
Membrana Poliéster	0.350			
Membrana de Coco	0.5			
Total integrado	19.95	19.95	34.05	

Tabla 4.19. Peso del Sistema en Cubierta

Elemento	Peso kg / m ²			
	material	1 capa vegetal	2 capas vegetales	4 capas vegetales
Plantas	15.55	15.55	31.1	62.2
Membrana PVC	2	7.850	7.850	7.850
Malla Polipropileno	3			
Membrana Poliéster	0.350			
Membrana de Coco	0.5			
Dren prefabricado	2			
Total integrado	19.95	19.95	38.95	70.05

4.10. Mediciones Térmicas de Materiales

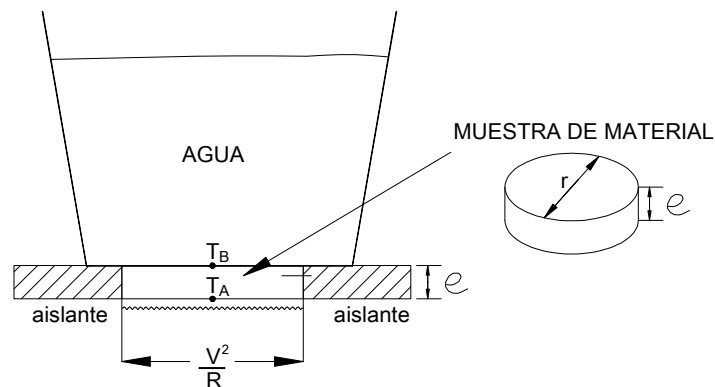
Una vez que se investigaron a detalle las características funcionales de las plantas a ser utilizadas, se obtuvo un sistema de materiales integrados que permitirá que la planta se establezca sin agredir los elementos constructivos de la edificación, a la vez que dan las condiciones propicias del edificio hacia la planta para lograr su establecimiento.

De estos materiales, se llevaron a cabo mediciones de Conductividad, en el Laboratorio de Energía Solar, con la asesoría del Mtro. Manuel Gordon Sánchez, y el responsable del Laboratorio Ing. Miguel Ángel Ferrer Zúñiga. De estos valores, apoyados en los datos de unidad de Masa, Volumen de muestras y Densidad, obtenidos de manera experimental, se derivan los demás valores térmicos que se utilizarán para desarrollar las simulaciones térmicas en con Energy Plus (DOE, 2009), en la Interfaz Design Builder (DSB, 2009).

El modelo experimental, como los procedimientos matemáticos de análisis y obtención de datos fueron diseñados por el Mtro. Manuel Gordon. La programación de las hojas de cálculo se realizaron en Excel (MSOffice, 2007), (Figura 4.47).

Se hizo una búsqueda de procedimientos o métodos establecidos para la medición de la conductividad y calor específico - en tanto material - para plantas, y no se encontró algún antecedente, por lo que el Mtro. Gordon propuso el procedimiento de medición en base al establecido en la Norma ASTM E1225-09 (ASTM, 2011). La conductividad se obtuvo aplicando la ecuación de conducción de calor de Fourier.

Figura 4.47. Esquema de la medición en Laboratorio:



$$q = VI = \frac{k}{e} \pi r^2 (T_A - T_B)$$

$$k = \frac{e q}{\pi r^2 (T_A - T_B)}$$

Donde:

q = Flujo de calor en Watt

k = Conductividad en $W/m^{\circ}C$

e = Espesor del material en metros

V = Diferencia de potencial en Voltios

R = Resistencia en Ohm (Ω) = 2.53Ω constante en todas las mediciones

I = Intensidad de corriente en Amperios

4.10.1. Material y equipo (Figuras 4.48 a 4.53).

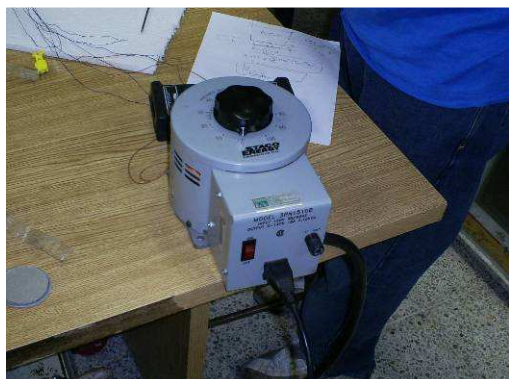


Figura 4.48. Variador de Voltaje STACO ENERGY

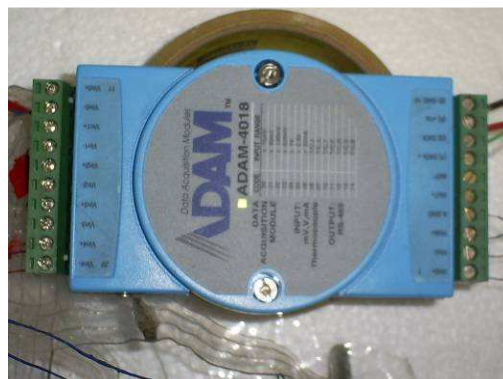


Figura 4.49. Módulo de Adquisición de Datos ADAM Con 8 termopares

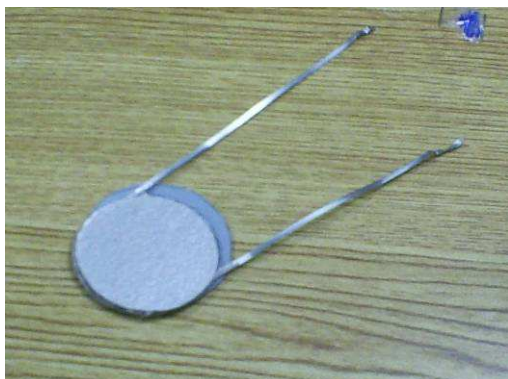


Figura 4.50. Nicromel con Mica eléctrica. Resistencia de 2.3Ω . De 5.5 cm de diámetro.

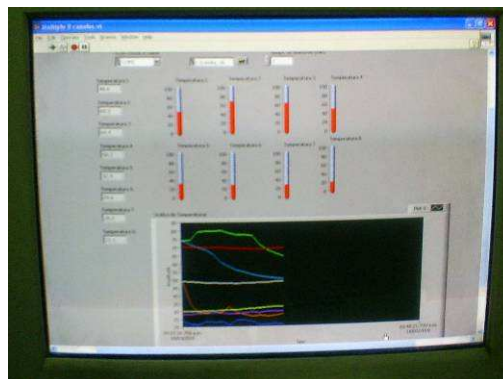


Figura 4.51. Toma de lectura con programa Lap View 7.1 de National Instruments



Figura 4.52. Termómetro digital OMEGA HH23



Figura 4.4.53. Multímetro TECTRONIX DMM912

4. 10.2. Plantas

4. 10.2.1. **Corte longitudinal** con marco aislante, que es la que se usa en los cálculos, al considerarse que el trabajo de la planta en tanto material, se realiza a través de sus costados recibiendo y transmitiendo el calor al otro elemento con el que contacta (Figuras 4.54 a 4.57).

Se llevaron a cabo otras dos mediciones preliminares de la planta, una donde no se aislaron los costados de la muestra, y por esto se descartó; y otra de una pequeña muestra transversal triangular, que se consideró que no representa la manera transmitir el calor a través de sí y cederlo al exterior, sino que estaría mostrando cómo se conduce el calor a través de la misma planta. Por esto se descartó y se tomó en cuenta sólo la medición que se describe a continuación.



Figura 4.54. Preparación de la prueba



Figura 4.55. Toma de temperatura del gua

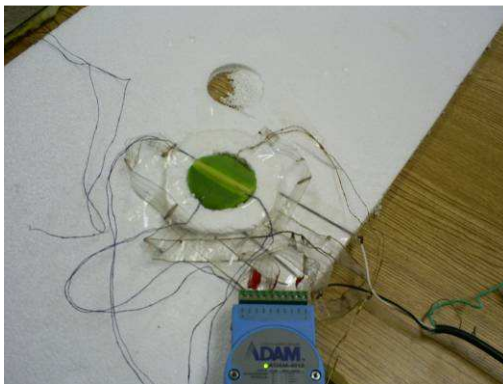


Figura 4.56. Aislamiento de la planta

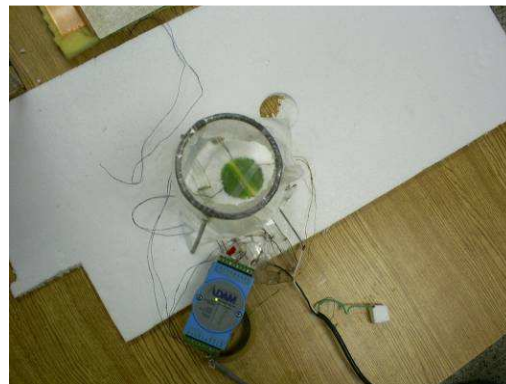


Figura 4.57. Preparación de medición



Figura 4.58. Aislamiento de la planta

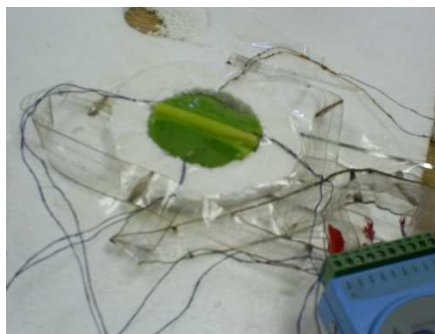


Figura 4.59. Toma de temperatura del agua

Valores de la prueba

1. Variador de voltaje	2.59 voltios
2. Temperatura inicial del agua	21.5 °C
3. Temperatura final del agua	22.4°C
4. Temperatura Ambiente	18.3°C
5. Resistencia	2.53 ohm
6. espesor del material	3 mm

4. 10.3. Membrana de Coco

Con el mismo procedimiento se midió la fibra de coco, debido a que este arreglo del material es peculiar y verificamos en laboratorio para tener valores confiables. (Figuras 4.60 y 4.61).



Figura 4.60. Aislamiento de la membrana

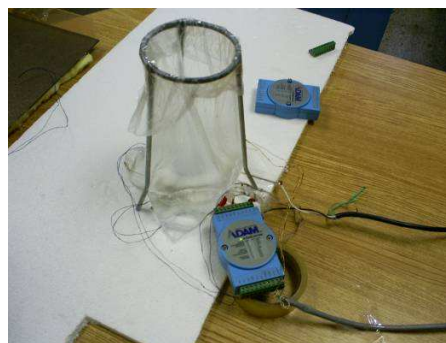


Figura 4.61. Desarrollo de medición

Valores de la prueba

1. Variador de voltaje	1.57 voltios
2. Temperatura inicial del agua	20.2 °C
3. Temperatura final del agua	22°C
4. Temperatura Ambiente	19.6°C
5. Resistencia	2.53 ohm
6. espesor del material	6 mm

4.9.4. Dren Prefabricado Compuesto

El dren prefabricado es un material compuesto de una membrana con calados cónicos de polipropileno, y sobre éstos, una membrana de poliéster. Por esto, la medición representará el Coeficiente “U” de Transferencia de calor (Figuras 4.62y 4.63).

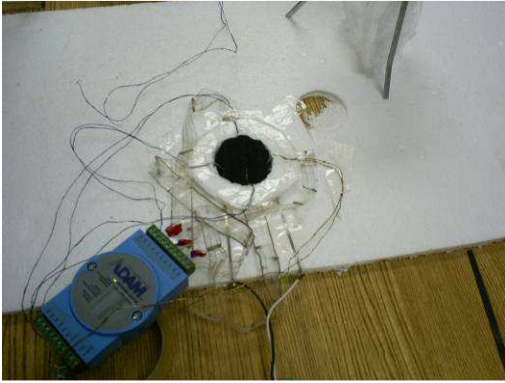


Figura 4.62. Conexión de termopares

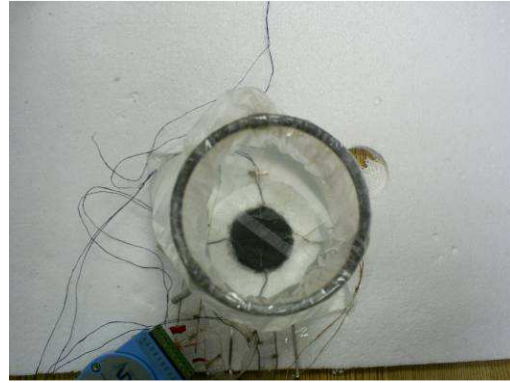


Figura 4.63. Desarrollo de medición

Valores de la prueba

1. Variador de voltaje	1.52 voltios
2. Temperatura inicial del agua	19.9 °C
3. Temperatura final del agua	20.6 °C
4. Temperatura Ambiente	21.4°C
5. Resistencia	2.53 ohm
6. espesor del material	1cm

4.9.5. Membrana de Poliéster

La membrana es de 3 mm de espesor y forma parte también del sistema (Figuras 4.64 y 4.65).

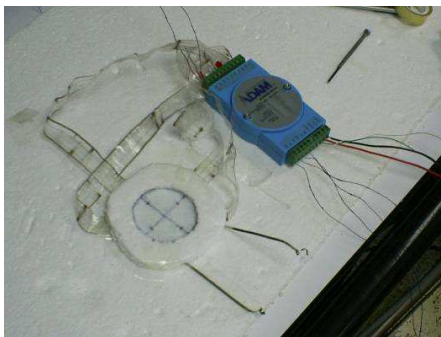


Figura 4.64. Aislamiento de la membrana



Figura 4.65. Toma de temperatura del agua

Valores de la prueba

1. Variador de voltaje	0.902 voltios
2. Temperatura inicial del agua	20.2 °C
3. Temperatura final del agua	22°C

4. Temperatura Ambiente	19.6°C
5. Resistencia	2.53 ohm
6. espesor del material	3 mm

4. 10.6. Membrana de PVC

Esta membrana corresponde al elemento impermeabilizante del sistema y se integrará a la simulación virtual (Figuras 4.66 y 4.67).



Figura 4.66. pvc medido



Figura 4.67. Desarrollo de medición

Valores de la prueba

1. Variador de voltaje	1.4 voltios
2. Temperatura inicial del agua	18.2 °C
3. Temperatura final del agua	20.2 °C
4. Temperatura Ambiente	19.3 °C
5. Resistencia	2.53 ohm
6. espesor del material	1mm

4. 10.7. Resultados

Se hicieron las mediciones a cada 1 minuto, durante 3 horas. Se tomaron en cuenta los valores a partir del momento en que se mantuvieron constantes las mediciones, tanto de la temperatura inducidas, como de los diferentes puntos de la planta o materiales donde se registró la temperatura emitida.

Una vez obtenidos los resultados, se procesaron en hoja de cálculo de Excel para obtener la conductividad de los materiales, y de este valor se obtuvo posteriormente el Calor específico.

Para el caso particular de las mediciones hechas a la pitahaya, se hizo un ajuste al procedimiento de cálculo del calor específico, descrito a continuación:

1º. La k promedio, es la obtenida con los valores experimentales que ya se estacionaron. Que para este caso son los que se mantuvieron estables a partir de la medición núm. 30, correspondiente al minuto 22 después de iniciada la prueba, y hasta el final de la prueba después de 2 horas 48 minutos a partir del inicio (Gráfica 4.2).

Esto es porque, los 2.65 Watt eléctricos aplicados al comienzo de la prueba, no pasaron a través de la muestra durante las 29 primeras lecturas. Una fracción de este calor (2.65 W) se queda en el material (Figura 4.68). Esta fracción de calor que permanece es:

$$q_e - q_k = q_a$$

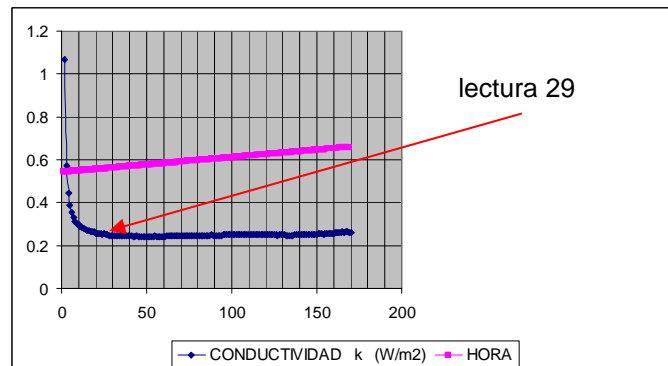
Donde:

q_e = Flujo de calor Eléctrico (flujo de calor en watt)

q_k = Flujo de Calor Conducido (el subíndice k se refiere a la conductividad)

q_a = Flujo de Calor que permanece en la muestra

Gráfica 4.2. Conductividad considerada desde el punto de estabilización



2º. Con la k promedio, calculamos posteriormente un q (flujo de calor) que sí se conduce a través de la muestra desde el inicio de la prueba, y hasta el momento en que se mantiene estable y arroja resultados lógicos, útiles para el valor de calor específico buscado. El cálculo de q_k es:

$$q_k = \frac{K * A}{e * \Delta T}$$

Donde:

q_k = Flujo de Calor Conducido (el subíndice k se refiere a la conductividad)

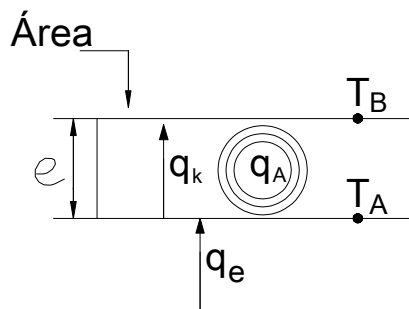
K = Conductividad ADECUADA antes descrita

e = Espesor de la muestra en metros

ΔT = Diferencial de temperatura en el lapso de tiempo medido

A = Área de la muestra

Figura 4.68. Esquema de la conducción de calor estimada



3º. De esta manera, el *Calor Específico* es el calculado con los primero 29 valores mencionados y con la ecuación:

$$C = \frac{q_a * \Delta t}{M * \Delta T}$$

Donde:

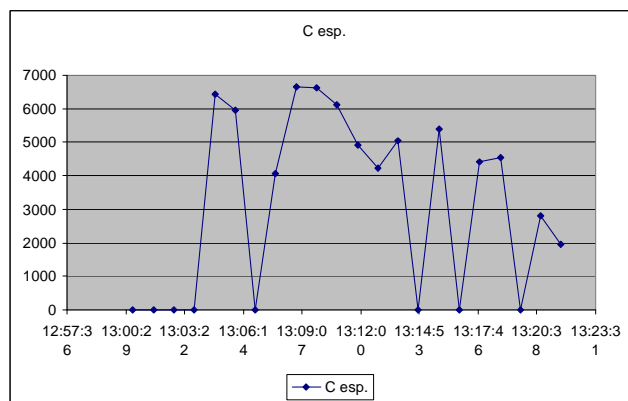
q_a = Flujo de Calor Almacenado

Δt = Lapso de tiempo entre mediciones

M = Unidad de masa, corresponde al peso de la muestra

ΔT = Diferencial de temperatura en el lapso de tiempo medido

Debido a que la gráfica de comportamiento del calor específico muestra valores fuera de los promedios estables, se eliminaron las lecturas correspondientes a valles fuera rango. Se atribuyen estos comportamientos a factores inestables durante el proceso experimental de pruebas. Los valores eliminados corresponden en la gráfica a los puntos 1- 4, 7, 15, 17 y 20. (Gráfica 4.3)



Gráfica 4.3. Comportamiento del calor específico.

4.11. Peso por material

Se hicieron las mediciones de cada muestra de material en el laboratorio de Química de Materiales de CBI de la UAM Azcapotzalco con una balanza analítica digital marca OHAUS, Modelo Voyager, midiéndose los siguientes materiales: Planta (Figura 4.69); Membrana de PVC (Figura 4.70); Membrana de Coco (Figura 4.71); Dren Compuesto (Figura 4.72); Membrana de Poliéster (Figura 4.73).



Figura 4.69. Planta, 14.1211 g



Figura 4.70. Pvc, 3662 g



Figura 4.71. Coco, 2454 g



Figura 4.72. Dren, 2.4.1127 g



Figura 4.73. Poliéster, 0.9428 g

4.12. Resultados

En el caso de la planta, los valores encontrados fueron $k = 0.25$ que es una conductividad igual a la de un mortero con arcilla expandida y a la del aire en cavidad.

El valor del Calor Específico calculado es de $4,937.9 \text{ J/Kg}^\circ\text{C}$, que es un valor cercano al del agua (Ver tabla 4.6, pág. 105 de éste capítulo). Por lo que se considera válido, debido a que en el informe de contenido de agua de esta especie, se mostró que puede estar constituida por el 70 y hasta el 90% de agua, según su nivel de irrigación. (Tabla 4.19).

Tabla 4.20. Valores térmicos obtenidos de las mediciones

Material	Conductividad (k) (W/ m °C)	Calor específico (C) J/kg°C	Densidad (δ) (g/cm ³)
Pitahaya	0.25	4,938	0.89
Membrana PVC	0.19	1,004	1.4
Membrana Poliéster	0.05	1,200	0.13
Membrana Coco	0.12	958	0.09
Membrana Pavidren	0.26	634.3	0.15

Se presentan en el **ANEXO 2** de este trabajo, las tablas de cálculo utilizadas para el análisis de la información y obtención de los resultados definitivos, que se utilizarán en los cálculos térmicos simulados en Design Builder (DSB, 2009).

4.13. CONCLUSIONES

- Se constató que la planta *Hylocereus undatus* se desarrolla adecuadamente en las condiciones de la ciudad de México y ZMVM, tanto climáticas, como de saturación de contaminantes y resistencia a escasez de abasto hídrico y mantenimiento.
- Se obtuvo importante información del Metabolismo Ácido Crasulaceo de la Pitahaya, que nos ha permitido inferir en esta planta, y así en el sistema de envolventes que aportaremos, una opción de asimilación de CO₂ y producción de oxígeno durante la noche; período en que las demás plantas emiten CO₂ y consumen oxígeno.
- Mediante la incorporación de membranas ligeras de diferentes materiales, es posible aportar a la planta estudiada las condiciones adecuadas para su establecimiento al incorporarlas a la envolventes de edificios.
- En éste capítulo se obtuvo un arreglo constructivo básico para la envolvente verde en base a pitahaya, mismo que es viable para ser aplicado a envolventes ligeras de edificio, lo que cubre una de las metas marcadas a ser conseguidas. El peso del sistema que se obtuvo es hasta 50% menor al del sistema más ligero aplicado actualmente en azoteas.
- Se obtuvo la densidad de cobertura del arreglo de plantas sobre muro y azotea, que es un dato fundamental para la evaluación térmica que se hace más adelante del sistema mediante el modelo matemático de Energy Plus (DOE, 2009).
- Se obtuvieron las características termofísicas de la Pitahaya en tanto material (antes desconocidas), así como las condiciones necesarias para su establecimiento. Igualmente se hizo con los demás materiales, que nos permite tener una base de datos aplicable a las simulaciones térmicas que se desarrollan más adelante en el presente trabajo.
- El alto contenido de agua que se constató en la Pitahaya (del 70 al 90%), hace que algunas de sus características físicas sean cercanas a las de este líquido, como el calor específico y la densidad, mismas cualidades que se incorporarán a las envolventes arquitectónicas constivuidas por este sistema.

CAPÍTULO

5

MONITOREO Y VERIFICACIÓN DE MODELOS TÉRMICOS

ÍNDICE DEL CAPÍTULO 5

- 5.1. Medición física de cubos térmicos
 - 5.1.1. Antecedentes
 - 5.1.2. Diseño de las mediciones
 - 5.1.3. Calibración de data loggers
 - 5.1.4. Construcción de cubos
 - 5.1.5. Establecimiento de los cubos para mediciones
 - 5.1.6. Desarrollo de mediciones
 - 5.1.6.1. Medición 1
 - 5.1.6.2. Medición 2
 - 5.1.6.3. Medición 3
- 5.2. Verificación del sistema
 - 5.2.1. Simulación de cubos en Design Builder
- 5.3. Conclusiones

5.1. Medición Física de Cubos térmicos

5.1.1. Condiciones de las mediciones

Se llevó a cabo la medición de tres cubos térmicos en intemperie, colocados sobre el edificio "O" de la UAM- Azcapotzalco, para hacer la comparación simultánea de su comportamiento térmico entre ellos, así como entre los cubos térmicos y un modelo idéntico virtual, para así obtener parámetros indicativos de la aportación que tiene una capa vegetal sobre el comportamiento térmico en la superficie expuesta. La conformación particular de cada uno de los cubos es la siguiente:

Cubo térmico 1

Conformado por 5 caras de placa de poliestireno (unicel) de 5 cm de espesor, densidad de 16kg/m^3 , que en su cara exterior estará forrado de papel aluminio, para evitar sobrecalentamiento por radiación solar. La sexta cara del cubo corresponde a una placa de lámina cubierta de vegetación, que ya se tiene preparada.

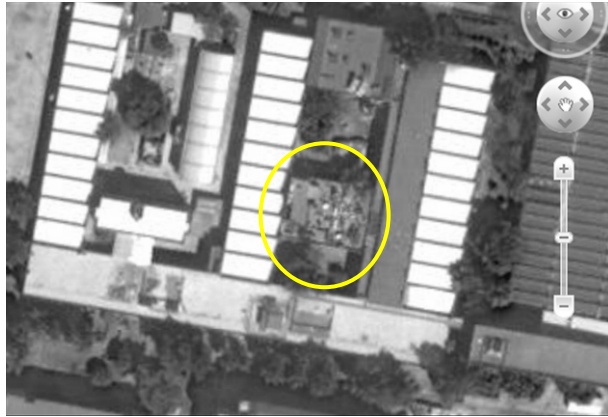
Cubo térmico 2

Es un cubo con 5 caras de placa de poliestireno (unicel) de 5 cm de espesor, densidad de 16kg/m^3 , que en su cara exterior estará forrado de papel aluminio, para evitar sobrecalentamiento por radiación solar. La sexta cara del cubo corresponde a una placa de lámina simple, que ya se tiene preparada.

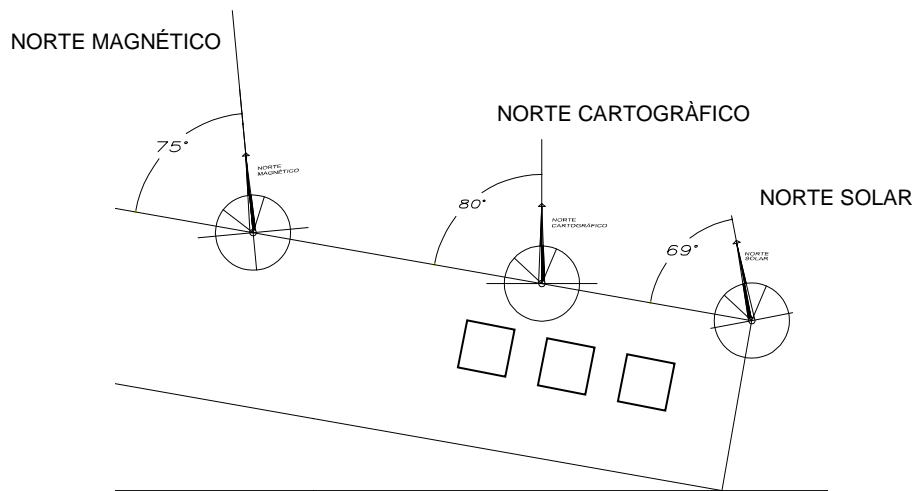
Cubo térmico 3

Es un cubo con 6 caras de placa de poliestireno (unicel) de 5 cm de espesor, densidad de 16kg/m^3 , que en su cara exterior estará forrado de papel aluminio, para evitar sobrecalentamiento por radiación solar. Este cubo se mide con la intención de conocer la aportación que está teniendo el material base

Durante dos semanas se adquirieron los materiales y se construyeron los cubos en el laboratorio de Energía Solar de la UAM Azcapotzalco. Para las diferentes mediciones realizadas se colocaron en fila con su frente dirigido al sur solar, que en este caso difiere de la alineación del edificio en 21° , debido a que el alineamiento longitudinal del edificio está girado 10° al noreste cartográfico y el sur solar difiere a su vez del cartográfico en 11° (Figuras 5.1. A y B).



A



B

Figura 5.1. A. Edificio "O" . B. Alineación de los cubos térmicos.

5.1.2. Diseño de las mediciones

Se midió la temperatura de la capa superficial de aire al interior de la fachada.

Para evitar la acumulación del calor ganado dentro de los cubos, se dispusieron seis ventilas en la parte superior de cada cubo para que el aire caliente ganado se desaloje de manera natural; y tres en la base del mismo para que el aire que se valla renovando al interior provenga de la base sombreada de cada cubo. Y de esta manera se pueda tener la medida de calor de las superficies frontales, y no el calor acumulado (Figuras 5.2. A y B).

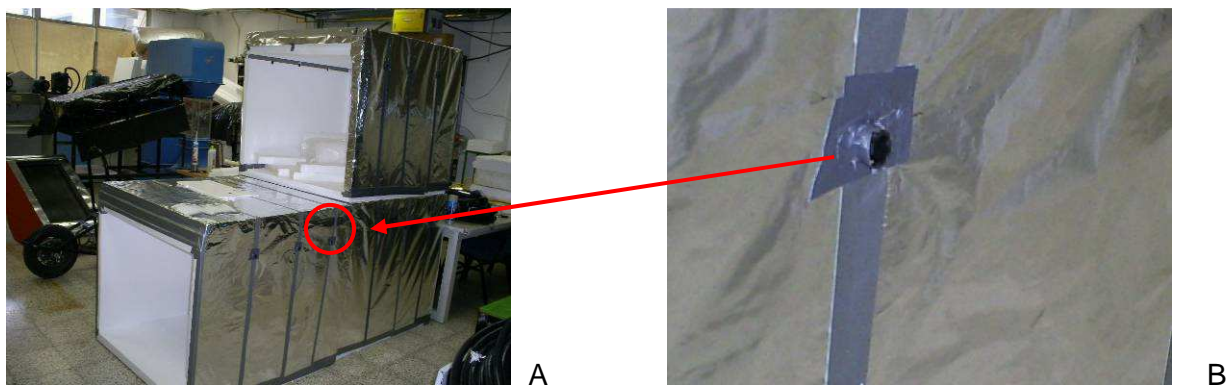


Figura 5.2. Ventiladores en cubos. A. Vista general. B. Detalle.

La medición se llevó a cabo con, cuatro data loggers²³ marca LASCAR, Modelo. EL-USB-2, para medición de Temperatura, Humedad relativa y temperatura de punto de rocío. Mismos que se adquirieron específicamente para estas mediciones.

Se colocó un data logger adosado y centrado al interior de la cara frontal de cada cubo, con la intención ya mencionada de medir la temperatura de la capa superficial de aire al interior del paramento. (Figura 5.3).

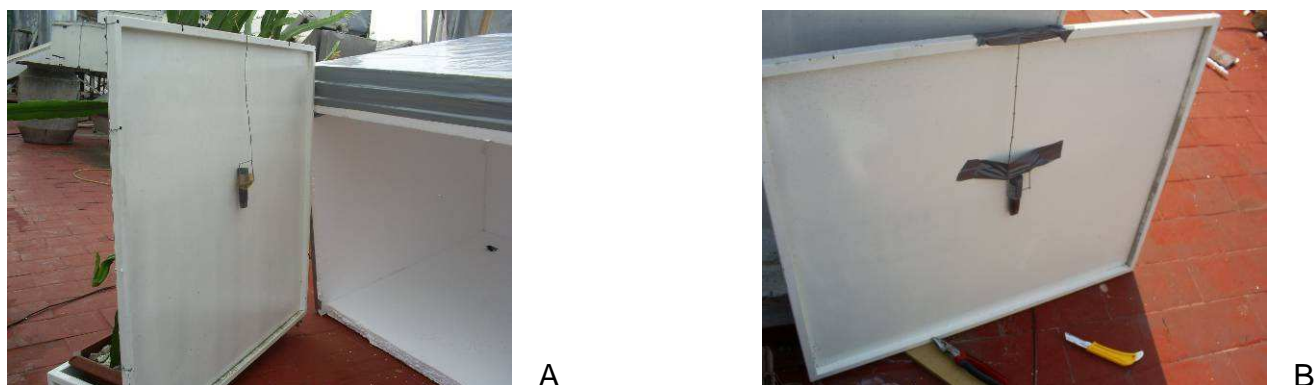


Figura 5.3. A. Ubicación de Data logger. B. Aseguramiento con cinta adhesiva.

Se colocó un cuarto adquisidor de datos para tomar las lecturas del ambiente exterior en un tripie a 1.5 m de altura de la superficie de la azotea, cubierto por una sombra hecha con unisel forrado con papel aluminio (Figura 5.4).

Los data loggers se programaron para tomar lecturas a cada 5 minutos. Para esta prueba se tomaron en cuenta sólo las lecturas de la temperatura de bulbo seco.

²³ Medidores digitales de temperatura, Humedad relativa y Temperatura de punto de rocío, con almacenamiento de datos.



Figura 5.4. A y B. Data logger para temperatura exterior.

5.1.3. Calibración de Data Loggers

Se calibraron los data loggers, dejándolos medir durante tres horas de manera simultánea en el mismo sitio, libres de corrientes de viento o factores que influyeran en una medición diferencial. Al medir y graficar los datos obtenidos, las lecturas tomadas a cada 5 minutos fueron idénticas en los data loggers, lo que garantizó que la medición de las pruebas partieron de la misma base termométrica.

5.1.4. Construcción de cubos

Los cubos se construyeron con placa de poliestireno de 16 Kg/m^3 de densidad, marca comercial Ciovintec, unidos entre sí con cinta para ducto marca Tuc de 48mm, forrados en el exterior con papel aluminio grosor mediano.

En la cara superior se hizo un arreglo de unicel – aire – unicel, para reducir la ganancia de los cubos por radiación directa sobre la cubierta (Figura 5.5.A). Los cubos se forran en el exterior con papel aluminio para reflejar mayor cantidad de radiación de onda corta, y de igual manera reducir la ganancia de radiación de onda larga proveniente del piso de la azotea (figura 5.5.B).

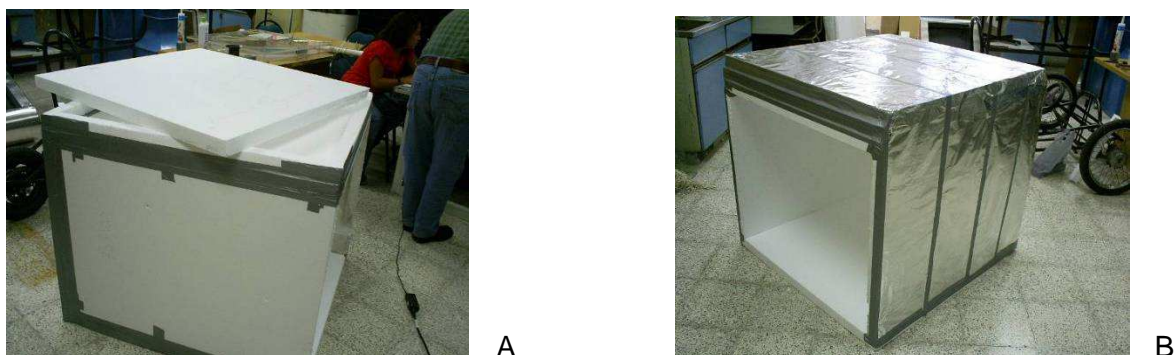


Figura 5.5. A. Doble panel en cubierta. B. Forro de cubos con papel aluminio.

El costo por la construcción de los cubos fue de \$2,713 pesos m. n. (Tabla 5.1).

Tabla 5.1. Costo de materiales, en pesos, m.n.

aterial	Unidad	Cantidad	Precio	Subtotal
1. Placa uncel 1.22x2.44, esp. 5cm, dens. 16Kg/m ³	pza	10	236	2,360
2. Papel Aluminio, de 60m long x 0.3 m ancho	pza	4	47.75	191
3. Cinta para ductos de 50m long x .05m ancho	pza	2	90	180
Total				2,713.35

5.1.5. Establecimiento de los cubos para mediciones

Se llevaron a cabo 3 diferentes mediciones:

5.1.5.1. **Medición 1.** Paramento principal orientado al sur.

Debido a que se llevó a cabo durante el mes de junio, no se presentó asoleamiento directo sobre la fachada sur, como lo deja ver la gráfica estereográfica (Figura 10). Se llevó a cabo esta prueba para obtener datos acerca de la diferencia en comportamiento de los cubos ante el calor radiante. Aun cuando estos datos no fueron utilizados para el presente trabajo, se obtiene información útil que nos dejó ver que el sistema aporta mejoras no sólo por sombreado ante radiación directa.

5.1.5.2. **Medición 2.** Paramento principal orientado al norte.

Para esta medición se orientaron las fachadas principales hacia el norte, donde recibieron radiación directa, dada la declinación estacional que se muestra la gráfica estereográfica (Figura 5.6). Esta medición es la que se tomó como referencia del comportamiento del sistema en fachada, ante la incidencia de radiación directa (Figura 5.7).

5.1.5.3. **Medición 3.** Paramento principal horizontal.

En ésta se exponen los paramentos principales de los cubos directamente a la radiación solar en un acomodo de cubierta. Esta medición aporta los datos más significativos a nuestro trabajo ya que se ha tomado como referencia de calibración del comportamiento del modelo virtual en Design Builder. Al darnos referencia física del comportamiento real de la planta en estas condiciones, un modelo igual a éste construido en Design Builder se ajustó hasta simular los patrones de comportamiento reales medidos, para después tomarse como base de las simulaciones del sistema aplicado a una casa habitación. Las mediciones y resultados se describirán más adelante.

Se colocaron en la azotea del edificio “O”, como ya se comentó, con una orientación 21° noreste respecto al Norte Solar. Se colocaron buscando un lugar dentro de la azotea, donde tuviera exposición al sol, y donde tuviera la menos obstrucción posible, tomando en cuenta que es un espacio altamente poblado con experimentos y mediciones de energía solar

Stereographic Diagram
 Location: 19.4°, -99.2°
 Sun Position: 67.1°, 5.6°
 HSA: 67.1°
 VSA: 14.1°

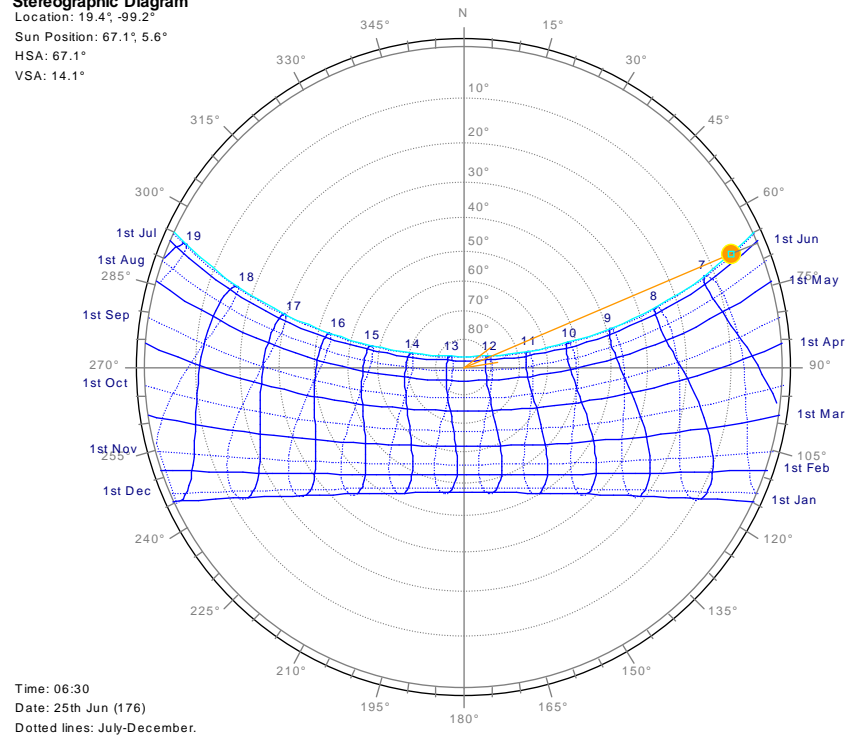


Figura 5.6. Gráfica Estereográfica
 Fuente: Weather Manager, Ecotect (Autodesk, 2010).



Figura 5.7. Colocación de cubos orientados al norte.

5.1.6. Desarrollo

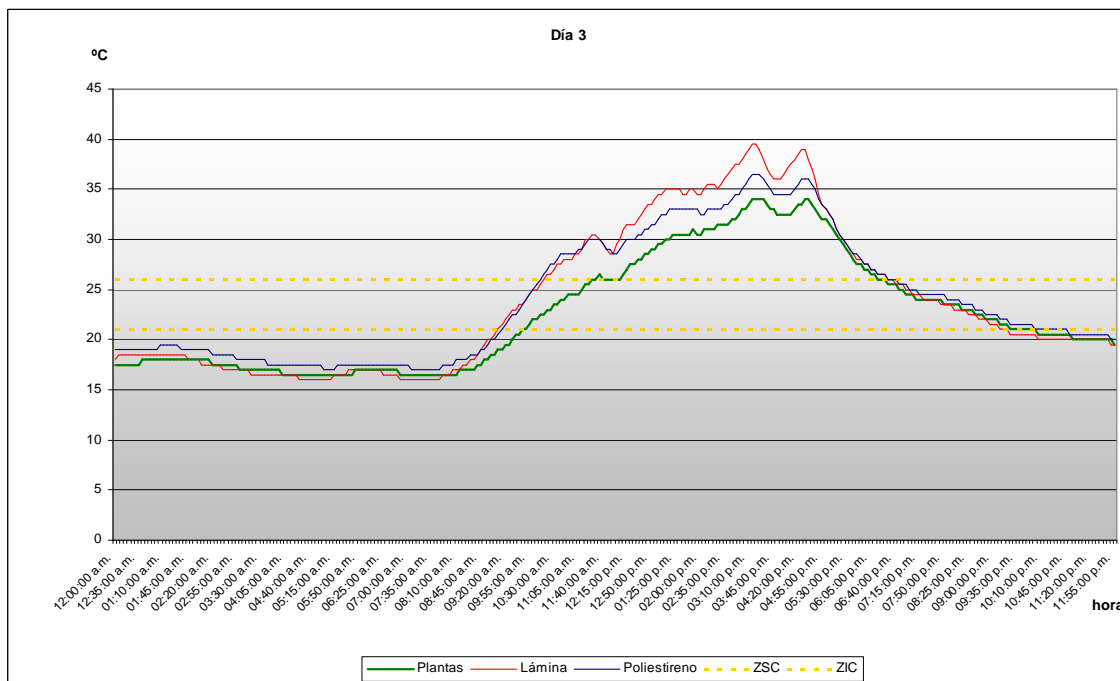
5.1.6.1. Medición 1. Cubos orientados al sur.

Medición de superficies sin radiación directa incidente

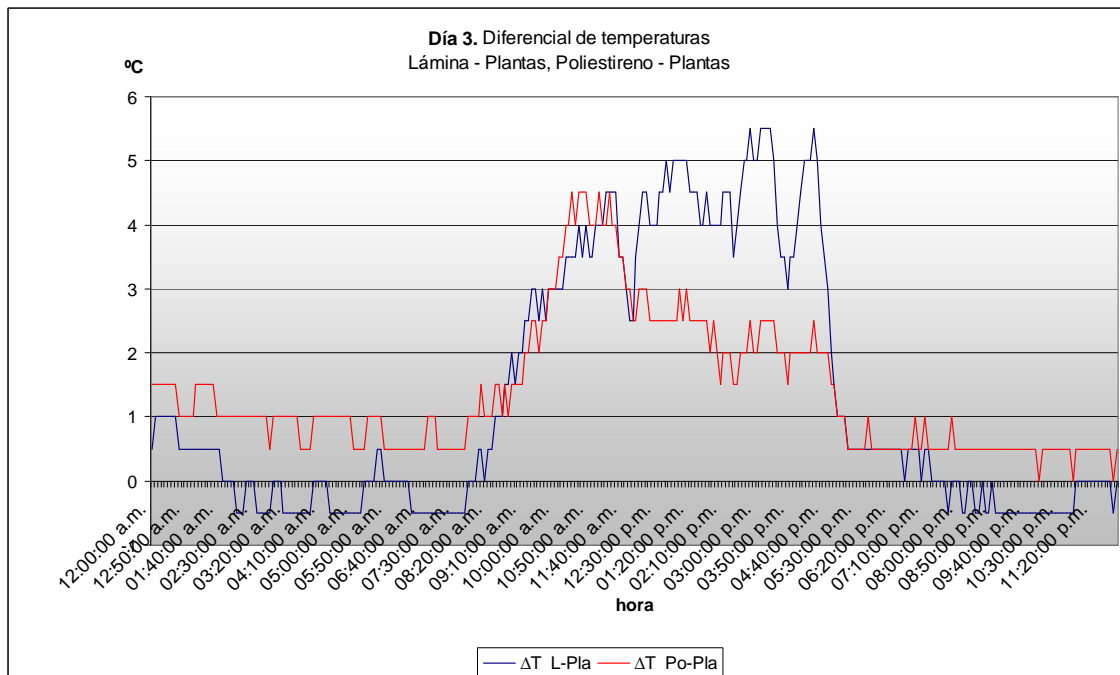
Se midió con la fachada sombreada por el mismo cuerpo del cubo, sin radiación directa durante todo el día, debido a la declinación del sol en el mes de junio para la latitud 19°27'. Como se mencionó anteriormente se llevó a cabo esta medición únicamente para observar el comportamiento comparado de los tres cubos ante radiación difusa, radiación de onda larga proveniente de los elementos circundantes como el piso y la radiación que da sobre el cuerpo del cubo. La medición se llevó a cabo durante 6 días, de los que se anulan los 2 días iniciales donde las mediciones eran inestables al haber sido recién instalados los cubos. Se presentará sólo un par de gráficas representativa del comportamiento típico de los cubos, correspondientes al día 13 de junio de 2010. Los demás días se presenta en el **ANEXO 3** de este trabajo.

5.1.6.1.1. Día de mediciones. 13/06/2010

En este día, al igual que en los demás se aprecia que la temperatura radiante admitida por la Superficie con plantas (S1) durante el día es menor que incluso la de poliestireno (S3). Se muestra en los tres cubos una sensibilidad a los cambios de temperatura muy similar, denotada por las curvas casi paralelas. Durante el día la planta gana más lentamente calor y nunca llega a rebasar los 35°C, temperatura que sí rebasan tanto el cubo de superficie de lámina (S2) y S3 (Gráfica 5.1).



Los diferenciales de temperatura para este día muestran cómo S2 se mantuvo a partir de las 24:00 hrs. y hasta las 8:00 con magnitud negativa de 0.5 K, que se, es decir que la lámina permaneció más fría en esta proporción. A partir de las 8:00 hrs. los diferenciales tienen la misma velocidad y magnitud tanto en S2 como en S3. posteriormente se estabiliza para el poliestireno y la lámina sigue ganando más calor con respecto a las plantas. Hacia las 18:00 hrs el diferencial entre S3 y S1 se mantiene estable, siempre a en magnitud positiva a favor del poliestireno. Igualmente se mantiene estable para S2 respecto de S1, pero con magnitud negativa de 0.5°C. es decir, la lámina estuvo más fría en esta proporción. (Gráfica 5.2).



Gráfica 5.2. Diferenciales de temperatura: Lámina-Planta; y Poliestireno-Planta. En la noche se observa como la temperatura de la lámina es menor a la de S1 y en el día S1 es más fresca que S2.

Una vez concluido el periodo de mediciones se obtuvieron los datos del comportamiento de los tres cubos.

En estas mediciones se observó que aún sin tener radiación directa sobre los paramentos variables (lámina simple; lámina con plantas; y poliestireno) la superficie con plantas aportó temperaturas menores incluso a la de poliestireno al interior de su cubo durante el día, por lo que se puede asegurar que la reducción de temperatura por la vegetación no sólo se debe al sombreado directo sobre el paramento.

Igualmente se observó que durante la noche la superficie con plantas contribuyó a que el cubo conservara más calor que la superficie de lámina simple.

5.1.6.2. **Medición 2.** Cubos orientados al norte en junio.

Se llevó a cabo esta medición para registrar las temperaturas superficiales interiores que puede admitir una superficie de lámina orientada al norte en verano debido a que la mayor parte del año ésta se considera una fachada fría. Se cree importante observar este comportamiento, a la vez que se registrará la contribución de la vegetación a la superficie de lámina para tener un parámetro, que si bien no se podrá interpolar a otros casos y escalas, en sí mismo puede ser indicativo.

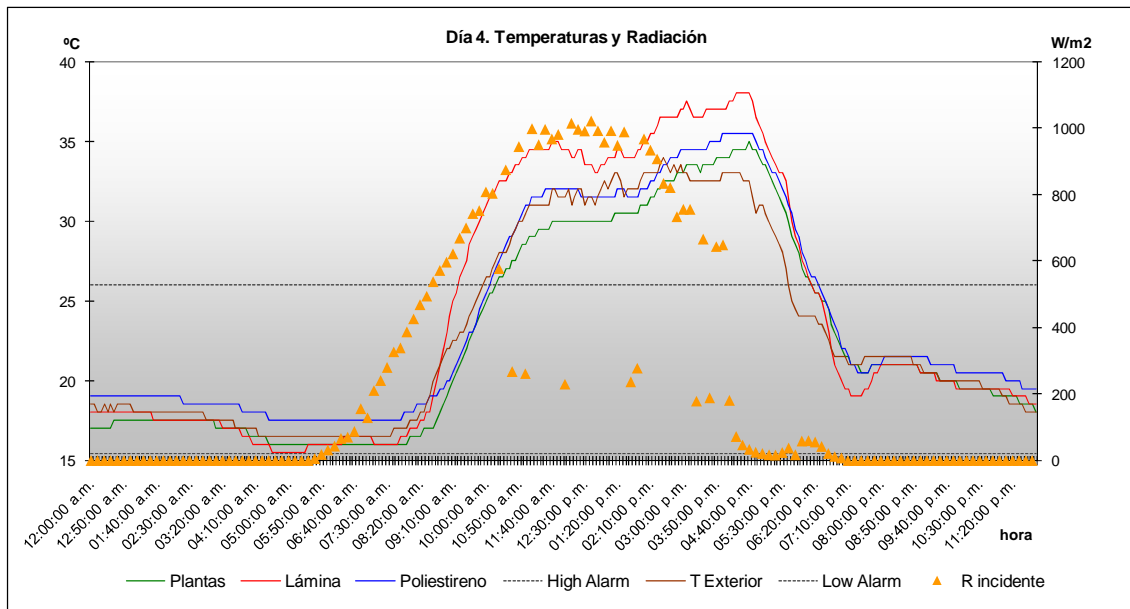
Los cubos permanecieron generando datos durante 15 días de los cuales, se muestran ocho en los que las gráficas guardan un comportamiento consistente de los tres cubos a lo largo de las mediciones. Mostrando que se presenta un mejor desempeño de la superficie con la cubierta vegetal respecto a la de lámina simple, de mayor impacto en el día, reduciendo la ganancia de calor, y en la noche con impacto mucho menor, reduciendo la pérdida del calor interior.

Para todas las gráficas que se presentan en adelante, la radiación corresponde a la tomada de manera simultánea por el Piranómetro del Laboratorio de Energía Solar de la UAM Azcapotzalco, ubicado en la misma azotea, a unos cuantos metros de los cubos térmicos. Debido a que el comportamiento de las temperaturas censadas al interior de los cubos se desarrolla bajo un patrón de comportamiento muy similar en los días de medición, se muestran las gráficas de un día representativo correspondiente al 22 de junio de 2010. El resto de los días registrados se presentan en el **ANEXO 3**, para su consulta.

5.1.6.2.1. **Día 4.** 22/06/2010

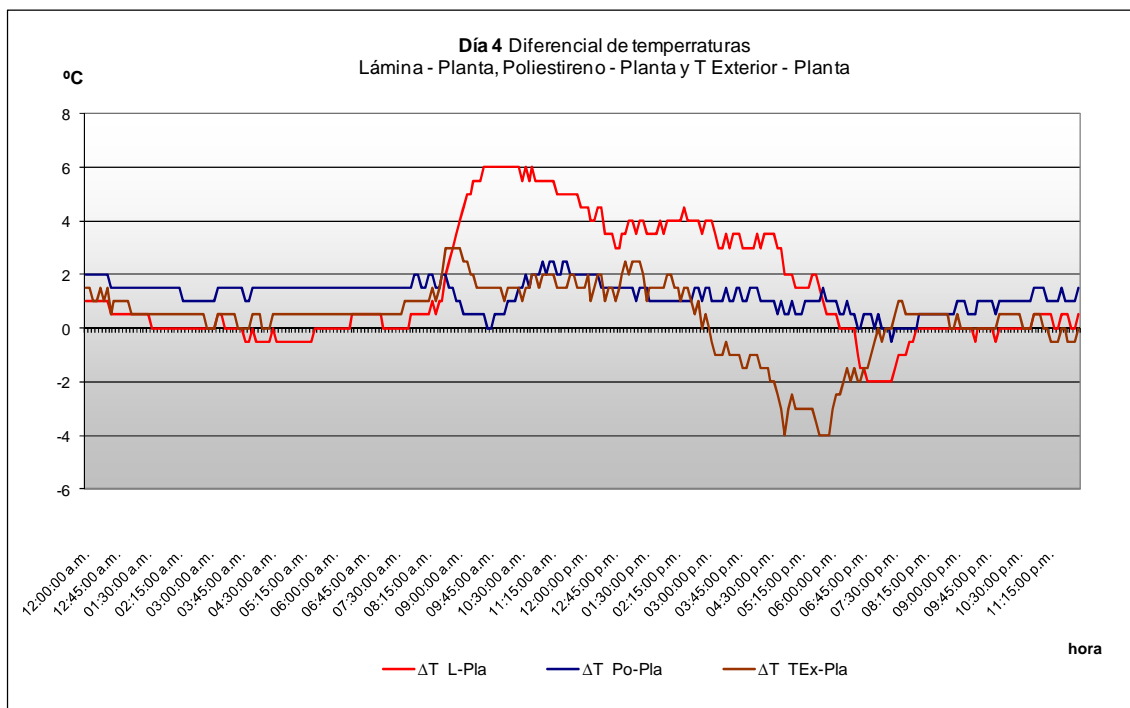
En esta gráfica se puede observar un comportamiento paralelo de las curvas de las cuatro mediciones desde las 24:00 hrs y hasta las 8:00 hrs en que la radiación total global es de 386 W/m^2 . A partir de este momento la curva de la lámina se incrementa siempre con más velocidad, por tener poca resistencia térmica. A partir de las 11:30 hrs las temperaturas tienen caídas repentinas e incrementos que recuperan la tendencia creciente.

Se puede observar que el incremento más estable de la temperatura es el de la superficie con plantas (S1), que suaviza las crestas aserradas antes de llegar a la temperatura máxima de ganancia, lo que nos indica que vuelve más estable el comportamiento de la superficie y de la temperatura al interior. Igualmente en este periodo se denota la cercanía del comportamiento de la temperatura exterior y la S2 que indica cómo la superficie con lámina tiene un bajo coeficiente de transmisión “U” y hace el espacio interior sumamente vulnerable a las condiciones del exterior, a la vez que la capa vegetal aplicada en S1 mitiga significativamente la transferencia de calor al interior. Se nota igualmente la similitud del comportamiento entre la S1 y la S3, que aun cuando la temperatura exterior oscile, tienden a presentar curvas más estables (Gráfica 5.3).



Gráfica 5.3. Temperaturas interiores de cubos: Plantas, Lámina, Poliestireno y T ext.

En el día 4 se observa nuevamente la mayor ΔT entre S2 y S1 durante el día, y el mayor enfriamiento de S2 durante la noche. A partir de 15:00 hrs. la temperatura ambiente comienza a ser menor que la de S2 hasta llegar a su diferencial más amplio a las 18:00 hrs, para después recuperar temperatura e igualarse a la de S1 (Gráfica 5.4).



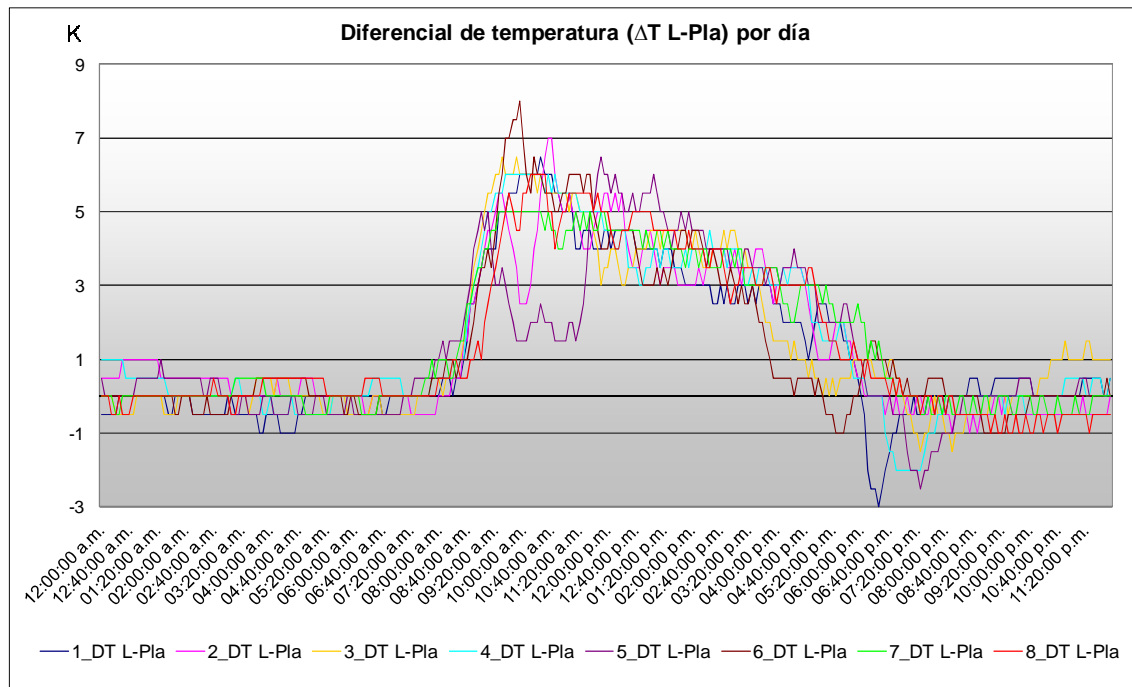
Gráfica 5.4. Diferenciales de temperatura Lámina-Planta, Poliestireno-Planta y T ext-Planta.

5.1.6.2.2. Concentrado de Diferenciales de temperatura en los 8 días en Medición 2.

Con la finalidad de revisar si el comportamiento de las temperaturas registradas al interior de los cubos responde a un patrón constante, se lle a cabo una gráfica con los diferenciales de temperatura de los ocho días de mediciones entre la superficie de lámina y la superficie de plantas.

Igualmente se analizan los diferenciales de temperatura entre poliestireno y plantas, así como entre T ext y plantas, que se presentan en el **ANEXO 3**.

De manera general el diferencial es positivo durante el día, mayor en magnitud en las horas en que incide radiación directa sobre la superficie. Durante la noche, predomina el diferencial negativo que indica que la S2 es más fría que la S1 hasta la hora 1:00. a partir de este momento, y hasta las 8:00 hrs. la temperatura en el aire superficial interno de S2 tiende a ser más caliente o igual al de S1. esta relación nos permite apreciar que el calentamiento de la planta durante el día le da a S1 la capacidad de conservar durante más tiempo el calor que S2. aproximadamente de 2 a 3 horas. Se aprecia que los diferenciales tienen un patrón constante, excepto en algunas horas en el periodo diurno para el día 5, y en el nocturno para los días 1 y 5, donde la presencia de lluvia hizo que la temperatura interior de la superficie de lámina fuera menos caliente en el día y más fría en la noche respecto a la superficie con plantas (Gráfica 5.5).



Gráfica 5.5. ΔT de Lámina – Plantas en los 8 días medidos.

5.1.6.3. **Medición 3.** Cubos con el paramento principal horizontal.

Se llevó a cabo una tercera sesión de mediciones, esta vez con la superficie naturada expuesta de manera horizontal, con la intención de obtener datos del comportamiento térmico de la vegetación actuando como cubierta. La medición se llevó a cabo con una capa simple de vegetación sobre la superficie, para ver así el comportamiento del sistema en su composición más básica. Se trata de establecer así una manera confiable de reproducir el comportamiento de la planta y trasladar estos datos al modelo virtual, considerando que este es un material vivo, y su comportamiento depende del metabolismo de la planta, que no se considera por parte de ningún método o programa de cálculo térmico, en este caso Energy Plus (DOE, 2009). Este modelo es el que se usa para calibrar el modelo virtual (Figuras 5.8. A y B).

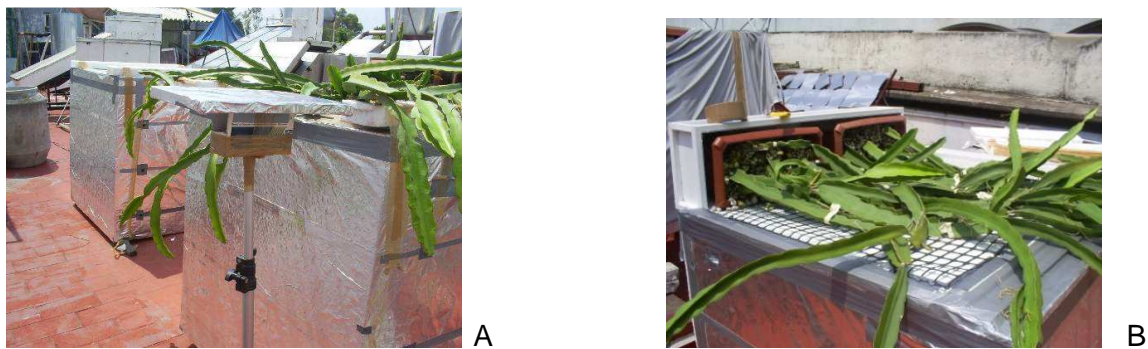


Figura 5.8. A y B. Colocación horizontal decubo con plantas.

Se llevaron a cabo las mediciones a cada 5 minutos durante ocho días, del 18 al 25 de julio, generándose 2,307 lecturas. Esta sesión se realizó con 3 data loggers con los que se midieron el cubo con vegetación, el cubo con lámina gris y la TBS Exterior como referencia.

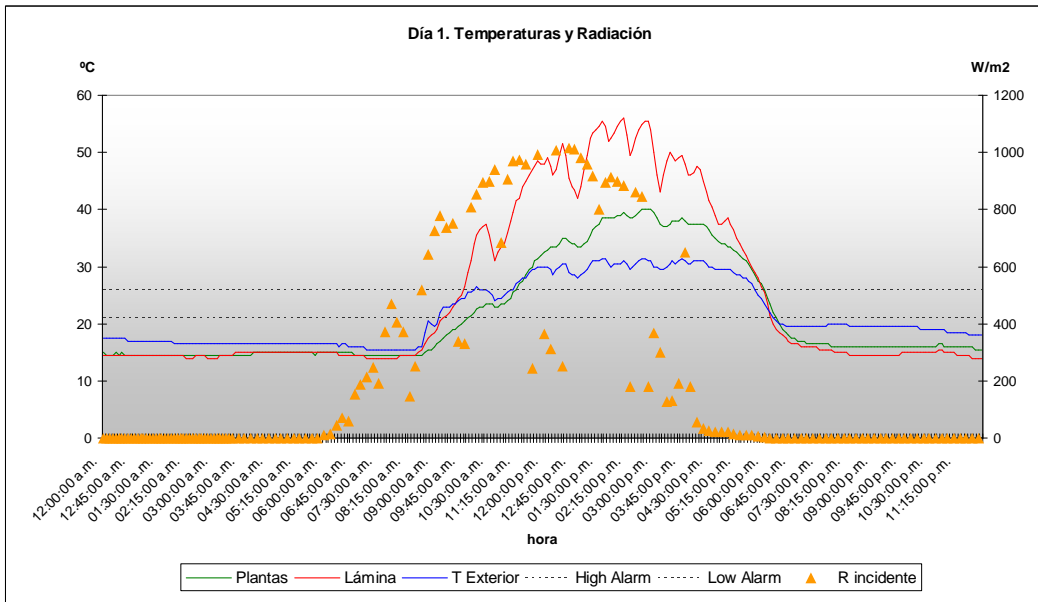
En el período que abarcó las mediciones se presenta el equinoccio de verano encontrándose el sol en el cenit, para la latitud de Azcapotzalco, como lo deja ver la gráfica estereográfica.

Se presentarán las gráficas correspondientes a un día característico, que es el 18 de junio, que a su vez, será el día que se compara con su correlato en la simulación de los mismos cubos en Design Builder, para ajustar las corridas térmicas virtuales al comportamiento de las medidas reales de los cubos térmicos. El resto de los días registrados en la medición 3, con sus gráficas se pueden ver en el ANEXO 3.

5.1.6.3.1. **Día 1.** 18/06/2010

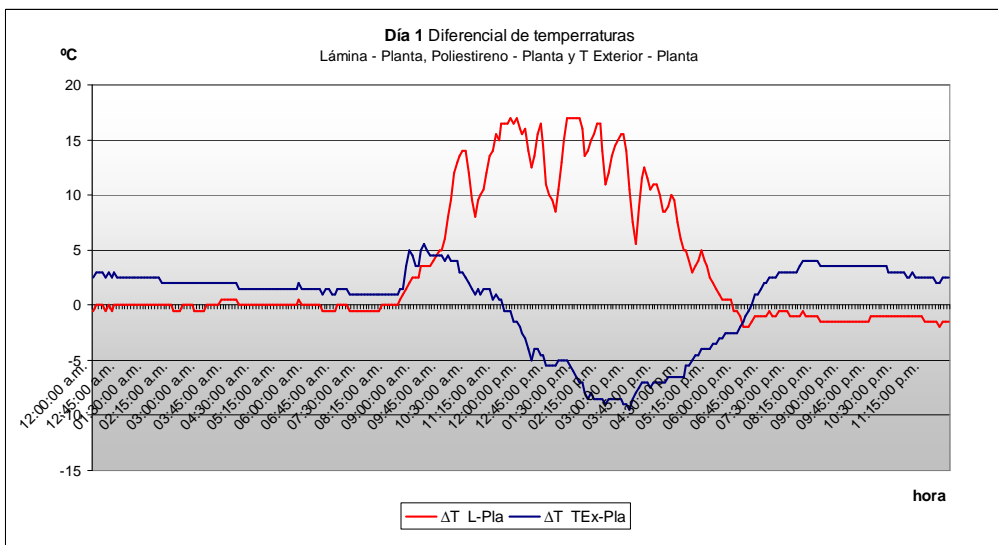
La curva de la superficie con plantas (S1) tiene un desarrollo más pausado en tiempo, mientras gana temperatura. Dado que recibe radiación de manera directa y la TBS Ext. se encuentra a la sombra, gana calor con más rapidez, para estabilizarse hacia las 13:00 hrs, momento en que su ganancia se vuelve más lenta y menor en magnitud. Alcanza 40°C a las 14:50 hrs, mientras la TBS Ext. es de 31°C y la superficie de la lámina (S2) es de 55.5°C. A

partir de este momento comienza a descender la temperatura. El descenso de la temperatura de la lámina es más vertiginoso que el de la superficie con plantas. De las 18:45 a las 11:15 hrs. la S1 se conserva 1.5°C por encima de la S2, por lo que se observa un ligero efecto de conservación de calor que bien puede deberse a retardo térmico o a protección del efecto convectivo del viento (Gráfica 5.6).



Gráfica 5.6. Temperatura interior de cubos Horizontales y T ext. Medición 3.

El diferencial de temperatura entre la S2 y la S1 llega a ser de 17K durante el día, debido al sombreado que proporcionan las plantas a la superficie. La S1 llega a ser 9.5 °C más caliente que la TBS Ext. (Gráfica 5.7).



Gráfica 5.7. Diferenciales de temperatura entre Lámina-Planta, y T ext-Planta. Medición 3.

5.2. Verificación del Sistema

Con la finalidad de verificar que el modelo matemático se desarrolle acorde al comportamiento real de la vegetación ante las condiciones naturales del medio (Figura 5.9), se llevó a cabo un modelo de calibración en el programa Design Builder (DSB, 2009), correspondiente a 3 cubos de 1m x 1m x 1m, iguales a los medidos en sitio (Figura 5.10), para llevar a cabo sus corridas térmicas y comparar los resultados.

Modelos físicos medidos bajo condiciones reales

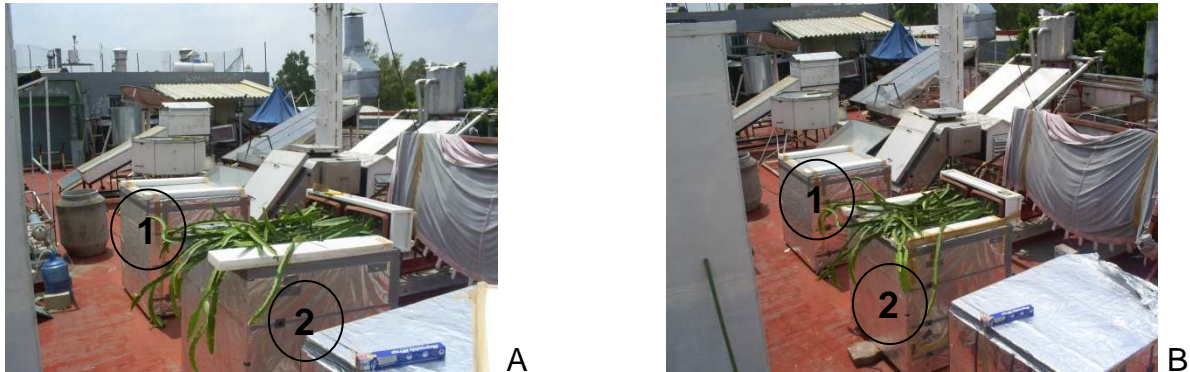


Figura 5.9. A. y B. .Cubos térmicos: 1. Superficie de lámina simple y; 2. Superficie de lámina con una capa de vegetación.

Modelación de cubos térmicos en Design Builder (DSB, 2009).

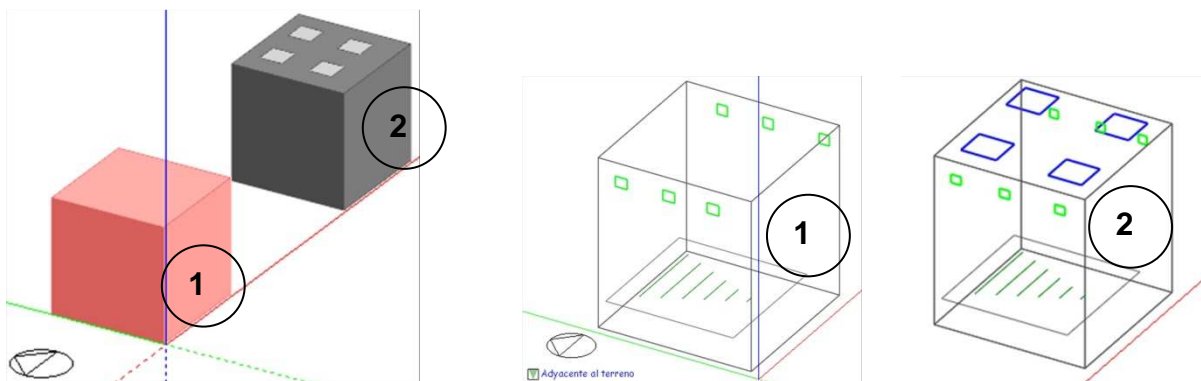


Figura 5.10.Cubos térmicos en DSB: 1. Lámina simple; 2. Lámina con plantas.

La representación del sistema de vegetación sobre la superficie requirió la simplificación del modelo. Uno de los problemas complejos fue la representación de la cobertura del sistema, que como se mostró en el capítulo 4, corresponde a un 83% de la superficie. En el modelo virtual, los huecos que se generan entre planta y planta, se simulan mediante una sub-superficie modelada en el programa, que se pueden visualizar como cuadrados azules sobre la superficie horizontal (Figura 5.10).

5.2.1. Simulación de cubos en Design Builder

Se llevó a cabo la simulación de los Cubos térmicos alimentando al programa el mismo arreglo constructivo y las mismas propiedades termofísicas de cada uno de los materiales. Posteriormente se comparó el comportamiento de los cubos simulados, haciéndose notar que en las primeras corridas térmicas el comportamiento del modelo virtual era muy distinto al modelo natural. Por esto, se fueron adecuando en el programa las propiedades superficiales de la cubierta vegetal, hasta obtener un comportamiento similar al del modelo real. Las propiedades termofísicas de las plantas, ya antes obtenidas en laboratorio no se modificaron. Se ajustaron la absorptancia y la absorptancia visible, que son campos que permite modificar el programa. La emisividad se consideró igual a la de una superficie de color medio, y cercana a la de la madera, que es un material orgánico del que se tiene referencia medida. Quedando los valores como sigue:

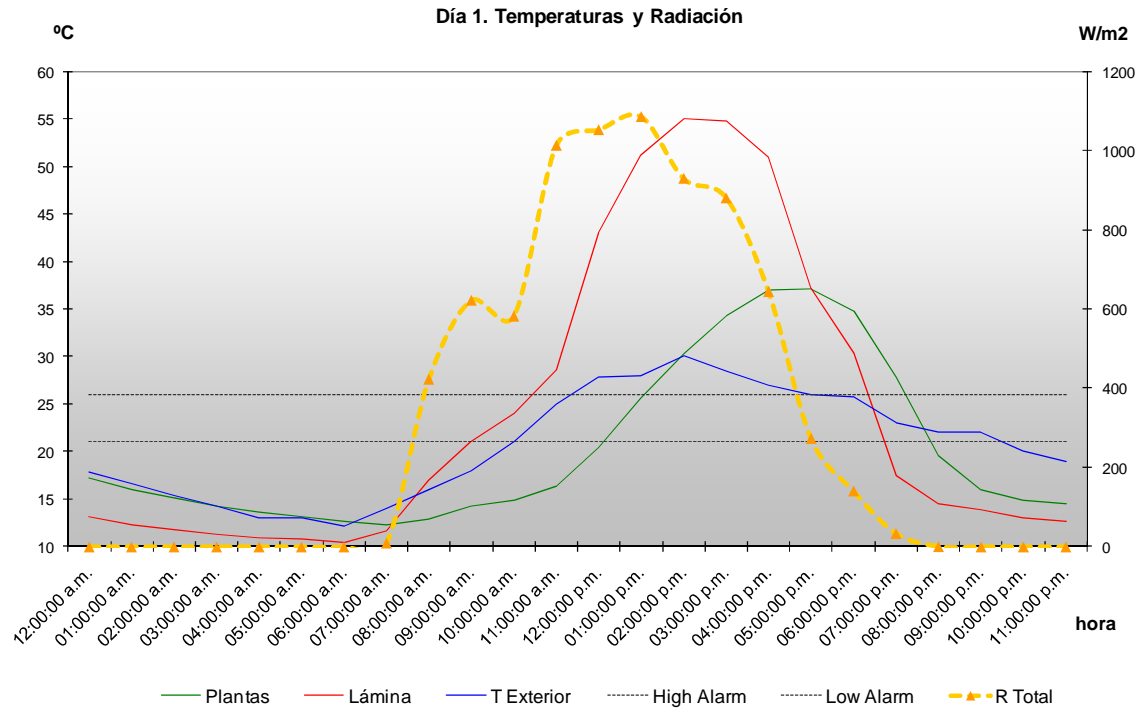
Propiedad	Valor asignado
Absortancia	0.70
Absortancia visible	0.70
Emitancia	0.85

Para llegar a estos valores, se hicieron más de diez corridas térmicas, comparándolas con los parámetros del comportamiento de los cubos térmicos medidos en sitio.

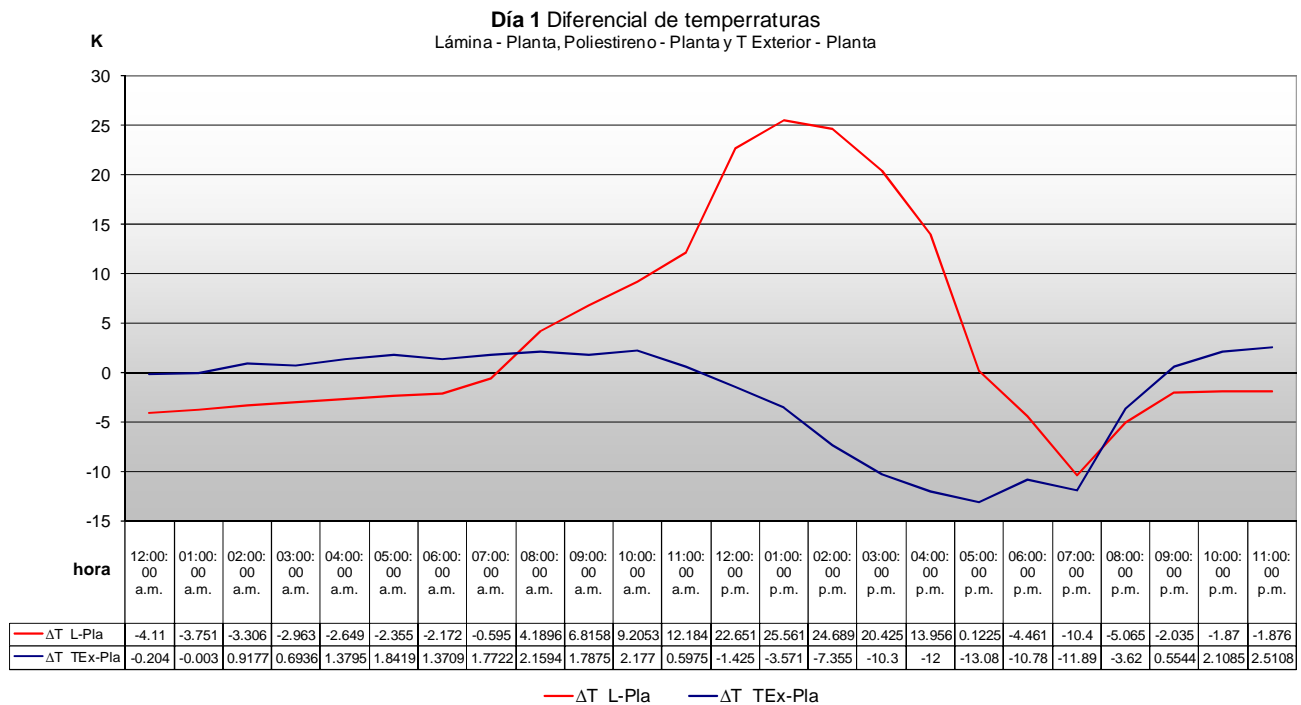
Se buscó particularmente la comparación del modelo virtual contra el real para un mismo día que tuvieran condiciones climáticas similares debido a que, como se dijo antes la base climática horaria usada en Design Builder corresponde al comportamiento del año 2000 y difiere de la medición en sitio del mes de julio de 2010. El día que guarda parámetro similares de radiación y temperatura es el 18 de julio, por lo que se seleccionó para ajustar lo más cercano posible los resultados en base a propiedades antes mencionadas. Se obtuvieron así las mediciones virtuales de temperaturas en el cubo de lámina y el de superficie con plantas de las que se presenta una gráfica representativa, quedando las demás en el **ANEXO 3** para su consulta.

5.2.1.1. Cubos térmicos virtuales en Dsign Builder. Resultados

Se obtuvo el comportamiento de temperaturas (Gráfica 5.8). así como los diferenciales de temperaturas que se dan entre las superficies medidas (Gráfica 5.9).

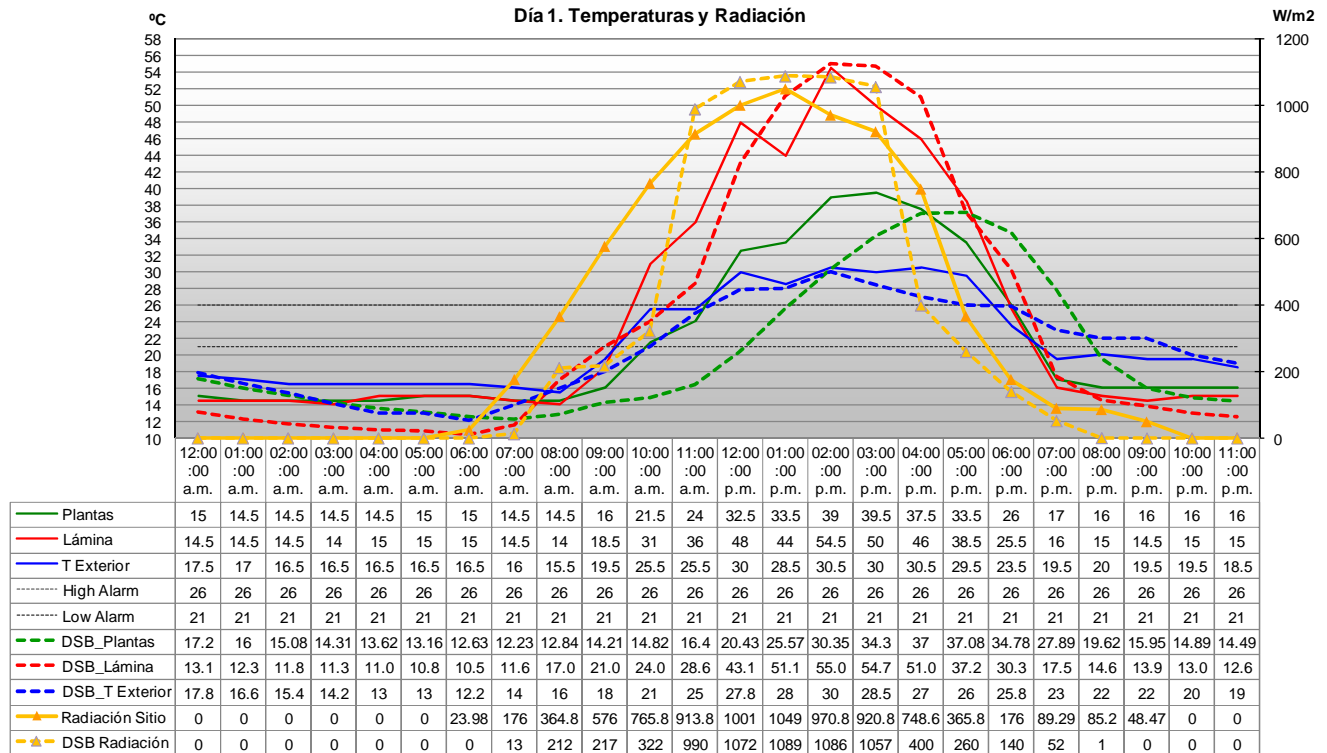


Gráfica 5.8. Medición del comportamiento térmico de los cubos simulados en Design Builder.



Gráfica 5.9. Diferenciales de temperatura de los cubos simulados en Design Builder.

Se compararon los datos obtenidos en la Medición3, de los cubos térmicos, contra los resultados de los cubos térmicos simulados en Design Builder, para constatar que el comportamiento de los cubos virtuales contra los reales es un patrón similar (Gráfica 5.10).



Gráfica 5.10. Comparación de las condiciones reales y virtuales de la medición y los resultados.

La gráfica muestra que bajo condiciones de temperatura y radiación similares, los Modelos virtual y real, siguen los mismos patrones de comportamiento.

En las gráficas obtenidas se presentan resultados similares para momentos análogos de medición. A las 11 hrs, cuando en ambos casos la temperatura exterior es de 25°C en DSB Y 25.5°C en Sitio , con una radiación de 990 W/m² para DSB y de 914 W/m² para el Sitio, el diferencial de temperatura entre Lámina (S2) y lámina con Vegetación (S1) es de 12 K. La temperatura máxima que alcanza la superficie de lámina S2 en Sitio es de 54.5°C y de 55°C para DSB. La temperatura máxima alcanzada por la S1 en sitio es de 39.5°C y de 37°C para DSB. Esto nos arroja un diferencial de temperatura entre la máxima de S1 respecto a la máxima de S2 de 15°C en sitio y de 18°C para DSB, q ue representa un desfase de 3°C entre modelo vistual y real. Para otros días de medición en sitio los diferenciales entre S1 y S2 fueron de 17, 18 y hasta 20K, que está dentro del mismo rango registrado para el modelo en sitio.

Durante la noche, a las 23:00 hrs, S1 es 1.8°C meno s fría que S2 para DSB y 1°C para el modelo en Sitio. A las 5:00hrs, S1 es 2.36°C menos fría que S2 para DSB y en sitio la temperatura de las dos superficies es igual. En esta misma hora la temperatura de los cubos en sitio es de 15°C con una T exterior de 16.5°C, que da una diferencia de 1°C; a la vez que la temperatura de S1 en DSB es de 13.16°C, mientras la T exterior es de 13°C, dando una diferencia de 0.16°C y de 2.2°C entre Text y S2, lo s que se mantiene en un rango aceptable de comporatamiento respecto al modelo medido en sitio.

5.3. CONCLUSIONES

- La Medición 1. Cubos térmicos sin radiación directa sobre el paramento variable permitió observar que: La lámina naturada aporta temperaturas interiores más bajas, incluso que el paramento de poliestireno, y considerablemente más bajas que la lámina simple, aún sin radiación directa. Por lo que el mejoramiento de resistencia térmica de la lámina con la vegetación, rebasa el sólo efecto de sombreado.
- La Medición 2. Cubos térmicos orientados al norte en junio permitió observar que: Los paramentos orientados al norte que tienen superficie de lámina, llegan a admitir temperaturas superficiales interiores iguales o mayores 38°C en verano, y que con una capa de vegetación sobre el mismo, se puede reducir la temperatura interior de superficie hasta en hasta 6°C, que es una importante contribución.
- La Medición 3. Paramento horizontal con radiación directa, fue la base de la calibración del Modelo virtual contra el Modelo físico real, al tener presencia directa y permanente de radiación.
- Se observó en las primeras simulaciones de cubos térmicos virtuales que no fue suficiente con alimentar los valores físicos y térmicos de materiales para que el modelo virtual se comportara igual que el real.
- Respetando las propiedades térmicas y físicas de materiales, se logró que el Modelo virtual reprodujera de manera muy semejante los patrones térmicos del Modelo real mediante el ajuste de las propiedades superficiales de la capa externa, es decir de la planta.
- Mediante la comparación del modelo virtual con los cubos medidos en sitio se obtuvieron los parámetros, que se consideran válidos, del comportamiento del sistema bajo condiciones naturales y que arrojarán datos confiables en las simulaciones del sistema aplicado a una casa habitación.
- Una vez que se obtuvo un modelo en DSB que se comporta con las mismas tendencias y dentro de los rangos de temperaturas y diferenciales de temperaturas que arrojó la medición de un modelo físico, se alimentaron estos datos a las simulaciones de una casa tipo. Proceso que se describirá en el siguiente capítulo.

CAPÍTULO

6

SIMULACIONES TÉRMICAS EN UNA VIVIENDA

ÍNDICE DEL CAPÍTULO 6

- 6.1. Antecedentes
- 6.2. Arreglos constructivos y materiales de la casa
 - 6.2.1. Bloques constructivos oriente y poniente
 - 6.2.2. Modelo de concreto simple
 - 6.2.3. Modelo de concreto con vegetación
 - 6.2.4. Modelo de lámina simple
 - 6.2.5. Modelo de lámina con vegetación
- 6.3. Materiales del Sistema Aligerado de Naturación
- 6.4. Ocupación y uso del edificio
- 6.5. Desarrollo de las simulaciones
 - 6.5.1. Simulación 1. Concreto Simple
 - 6.5.2. Simulación 2. Concreto Naturado
 - 6.5.3. Simulación 3. Lámina Simple
 - 6.5.4. Simulación 4. Lámina Naturada
- 6.6. Desempeño térmico comparado
 - 6.6.1. Concreto Simple Vs Concreto Naturado
 - 6.6.2. Lámina Simple Vs Lámina Naturada
 - 6.6.3. Comparativo de todos los modelos
- 6.7. Impactos energéticos de los modelos evaluados
 - 6.7.1. Demanda energética de los modelos de Concreto. Simple Vs Naturado
 - 6.7.1.1. Electricidad para enfriamiento
 - 6.7.1.1.1. Gasto y ahorro por enfriamiento
 - 6.7.1.2. Gas para calentamiento
 - 6.7.1.2.1. Gasto y ahorro por calentamiento
 - 6.7.1.3. Emisión de CO₂ de los modelos de Concreto. Simple Vs Naturado
 - 6.7.2. Demanda energética de los modelos de Lámina. Simple Vs Naturada
 - 6.7.2.1. Electricidad para enfriamiento
 - 6.7.2.1.1. Gasto y ahorro por enfriamiento
 - 6.7.2.2. Gas para calentamiento
 - 6.7.2.2.1. Gasto y ahorro por calentamiento
 - 6.7.2.3. Emisión de CO₂ de los modelos de Lámina. Simple Vs Naturada
 - 6.7.3. Otros contaminantes evitados por ahorro energético
- 6.8. Método estático de evaluación del Sistema
- 6.9. Conclusiones

6.1. Condiciones generales

El cálculo del sistema se desarrolla con los algoritmos de cálculo térmico de Energy Plus DOE, 2009), a través de su interfaz Design Builder (DSB, 2009) que de acuerdo con Gomes (2010) son los programas certificados por la legislación norteamericana y europea para evaluar la eficiencia energética de las edificaciones. El edificio “Tipo” que se evaluó parte de un modelo real de casa en condominio horizontal, que para nuestro ejercicio lo situamos bajo las condiciones geográficas y climáticas de la Ciudad de México. El espacio modelado tiene 9 x 6 metros de desplante, con entrepiso de 2.3 metros al lecho bajo de la losa, en dos plantas. (Figura 6.1.A).

En los diferentes modelos de comparación la losa y los muros sur fueron los elementos variables, dándose los siguientes cuatro tipos en pares de contraste: Losa de Concreto; Losa de Concreto con vegetación; Lámina simple; y Lámina con Vegetación. Las simulaciones se llevaron a cabo sobre el “bloque 2” (Figura 6.1.B), porque es donde se registra el intercambio térmico con el medio exterior a través de la losa. En la planta baja los promedios se mezclan y se pierde el registro del efecto inmediato de la aplicación del sistema.

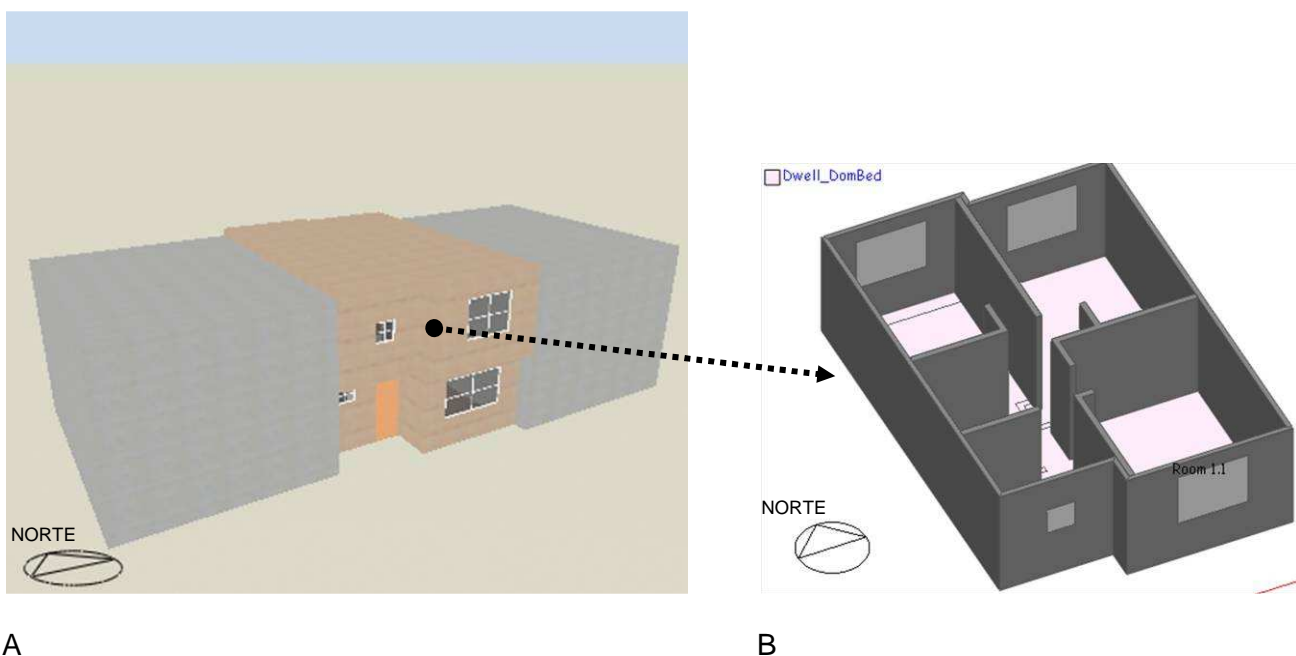


Figura 6.1. Modelo de simulación. A. Vista de la casa y sus colindancias. B. Las mediciones se hicieron en el Bloque 2. Los bloques constructivos (en color gris) se agregaron al oriente y poniente del edificio evaluado para representar una condición común de una casa en Ciudad de México al estar en un predio medianero.

Al modelo de casa utilizado para las simulaciones se le crearon dos bloques colindantes para representar una condición cercana a la de un terreno y casa en la ciudad, por lo regular limitado entre colindancias. Al mismo tiempo esto permitió concentrar el flujo de calor del entorno hacia el interior de la casa y en sentido opuesto, a través de los elementos donde se

aplicó la naturación, reduciendo la participación de las colindancias oriente y poniente en la simulación.

De igual manera, al piso de la casa y a los bloques colindantes mencionados se les programaron características constructivas marcadas en el programa Energy Plus como “mejores prácticas” que tienen características cercanas a las adiabáticas, igualmente para reducir su aportación al intercambio térmico.

6.2. Arreglos constructivos y materiales de la casa evaluada

Los materiales de los componentes constructivos del modelos tienen las siguientes características y valores térmicos:

6.2.1. Bloques constructivos al oriente y poniente

- **Losas.** Las losas de los bloques constructivos colindantes son de concreto vaciado de 100 mm de espesor (Tabla 6.1).

Superficie interior	
Coeficiente de transferencia convectiva de calor (...)	4.460
Coeficiente de transferencia radiativa de calor (W/...)	5.540
Resistencia superficial (m ² ·K/W)	0.100
Superficie exterior	
Coeficiente de transferencia convectiva de calor (...)	19.460
Coeficiente de transferencia radiativa de calor (W/...)	5.540
Resistencia superficial (m ² ·K/W)	0.040
Sin Puentes Térmicos	
Valor U de superficie a superficie (W/m ² ·K)	14.000
Valor R (m ² ·K/W)	0.211
Valor U (W/m²·K)	4.730
Con puentes térmicos (BS EN ISO 6946)	
Límite superior de resistencia (m ² ·K/W)	0.211
Límite inferior de resistencia (m ² ·K/W)	0.211
Valor U de superficie a superficie (W/m ² ·K)	14.000
Valor R (m ² ·K/W)	0.211
Valor U (W/m²·K)	4.730

Tabla 6.1. Tableta de programación de losas en Design Builder, donde se muestran sus características físicas y valores termofísicos correspondientes

• **Muros exteriores.** Los muros exteriores se programaron para presentar poco intercambio calorífico. Se componen de una capa externa de 10 cm de tabique, 12 cm de poliestireno extruido, 10 cm de concreto y un enlucido interior de yeso de 13mm (Tabla 6.2. A y B).

<div> <div>Sección</div> <div>Superficie exterior</div> <div> <div>105.00mm Brickwork (Outer Leaf)</div> <div>118.00mm XPS Extruded Polystyrene - CO2 Blowing</div> <div>100.00mm Concrete Block (Medium)</div> <div>13.00mm Gypsum Plastering(no está a escala)</div> </div> <div>Superficie interior</div> </div>	A	Superficie interior	Coefficiente de transferencia convectiva de calor (... 2.152
		Superficie exterior	Coefficiente de transferencia radiativa de calor (W/... 5.540
			Resistencia superficial (m2-K/W) 0.130
		Superficie exterior	Coefficiente de transferencia convectiva de calor (... 19.870
			Coefficiente de transferencia radiativa de calor (W/... 5.130
			Resistencia superficial (m2-K/W) 0.040
		Sin Puentes Térmicos	
		Valor U de superficie a superficie (W/m2-K)	0.261
		Valor R (m2-K/W)	3.994
		Valor U (W/m2-K)	0.250
		Con puentes térmicos (BS EN ISO 6946)	
		Límite superior de resistencia (m2-K/W)	3.994
		Límite inferior de resistencia (m2-K/W)	3.994
		Valor U de superficie a superficie (W/m2-K)	0.261
		Valor R (m2-K/W)	3.994
		Valor U (W/m2-K)	0.250

Tabla 6.2. Tabletas de programación de muros en Design Builder. A. Sección. B. Valores térmicos

• **Piso sobre el suelo.** Piso aislante en base a medio centímetro de madera, 148 mm de aislante de lana mineral y 25 mm de acabado exterior de cemento (Figura 6.3. A y B).

<div> <div>Sección</div> <div>Superficie interior</div> <div> <div>5.00mm Wooden Flooring(no está a escala)</div> <div>148.00mm MW Stone Wool (rolls)</div> <div>25.00mm External Rendering</div> </div> <div>Superficie exterior</div> </div>	A	Superficie interior	Coefficiente de transferencia convectiva de calor (W/m2-K) 0.342
		Superficie exterior	Coefficiente de transferencia radiativa de calor (W/m2-K) 5.540
			Resistencia superficial (m2-K/W) 0.170
		Superficie exterior	Coefficiente de transferencia convectiva de calor (W/m2-K) 19.460
			Coefficiente de transferencia radiativa de calor (W/m2-K) 5.540
			Resistencia superficial (m2-K/W) 0.040
		Sin Puentes Térmicos	
		Valor U de superficie a superficie (W/m2-K)	0.264
		Valor R (m2-K/W)	3.996
		Valor U (W/m2-K)	0.250
		Con puentes térmicos (BS EN ISO 6946)	
		Límite superior de resistencia (m2-K/W)	3.996
		Límite inferior de resistencia (m2-K/W)	3.996
		Valor U de superficie a superficie (W/m2-K)	0.264
		Valor R (m2-K/W)	3.996
		Valor U (W/m2-K)	0.250

Tabla 6.3. Tableta de programación de piso en Design Builder. A. Sección. B. Valores térmicos

6.2.2. Modelo de concreto simple

- Losa de concreto de 100 mm, como la descrita anteriormente
- Los muros orientados al son de concreto vaciado de 100 mm de espesor, con los mismos valores térmicos que la losa de concreto.

6.2.3. Modelo de concreto con vegetación

La losa es de concreto con 4 capas de vegetación, con las características constructivas y térmicas descritas más adelante los muros sur tienen 3 capas de vegetación . El resto de la edificación conserva el arreglo del edificio general ya descrito.

- Losa
 - Losa de concreto de 100 mm e espesor, con los mismos valores térmicos descritos anteriormente (valores térmicos de Energy Plus).
 - Membrana impermeable de pvc de 1mm (valores térmicos calculados en Laboratorio de Energía Solar [LES] de la UAM Azcapotzalco).
 - Membrana de drenaje “Pavidren” de 10 mm de espesor (valores térmicos calculados en el LES de la UAM Azcapotzalco).
 - Membrana de fibra de coco de 6mm (valores térmicos calculados en LES de la UAM Azcapotzalco).
 - Cuatro capas de plantas *Hylocereus undatus* de 6.25mm de espesor, intercaladas con tres capas de aire de 20 mm cada una (Valores térmicos calculados en el LES UAM-A y calibrados mediante modelo físico).

En el modelo de evaluación, con fines de simplificar el análisis de Energy Plus, y luego de gran cantidad de intentos de realizar las corridas térmicas, el modelo se simplificó aglutinando en un solo bloque la masa aportada por las plantas, al igual que la capa de aire del sistema. Se programó a este sistema un porcentaje de sub - superficie en área equivalente a un porcentaje de cobertura de la planta del 83% y 17% de superficie base expuesta al exterior, en este caso losa de concreto (Tabla 6.4 A y B).

editar cerramientos - Lamina_4_Capas_Plantas

cerramientos Datos

Capas Imagen Calculado

Sección

Superficie interior

1.00mm	Lmina_Galvanizada(no está a escala)
1.00mm	Membrana_PVC(no está a escala)
10.00mm	Membrana_Pavidren
6.00mm	Membrana_Coco
20.00mm	Pitahaya
20.00mm	Cavidad_Aire
20.00mm	Pitahaya_2

Superficie exterior

A

Superficie interior	
Coeficiente de transferencia convectiva de calor (...)	4.460
Coeficiente de transferencia radiativa de calor (W/...)	5.540
Resistencia superficial (m ² -K/W)	0.100
Superficie exterior	
Coeficiente de transferencia convectiva de calor (...)	19.767
Coeficiente de transferencia radiativa de calor (W/...)	5.233
Resistencia superficial (m ² -K/W)	0.040
Sin Puentes Térmicos	
Valor U de superficie a superficie (W/m ² -K)	2.006
Valor R (m ² -K/W)	0.639
Valor U (W/m²-K)	1.566
Con puentes térmicos [BS EN ISO 6946]	
Límite superior de resistencia (m ² -K/W)	0.639
Límite inferior de resistencia (m ² -K/W)	0.639
Valor U de superficie a superficie (W/m ² -K)	2.006
Valor R (m ² -K/W)	0.639
Valor U (W/m²-K)	1.566

B

Tabla 6.4. Tableta de programación de concreto naturado en Design Builder. A. Sección. B. Valores térmicos

6.2.4. Modelo de lámina simple

La cubierta del modelo de evaluación es de lámina galvanizada simple. Asimismo los muros al sur de este bloque constructivo. Los demás elementos del edificio se conservan como el edificio general: valores térmicos calculados en Energy Plus, en base a datos de hoja de balance térmico de Fuentes Freixanet. (Tabla 6.5).

Superficie interior	
Coeficiente de transferencia convectiva de calor (...)	4.767
Coeficiente de transferencia radiativa de calor (W/...)	5.233
Resistencia superficial (m ² -K/W)	0.100
Superficie exterior	
Coeficiente de transferencia convectiva de calor (...)	20.155
Coeficiente de transferencia radiativa de calor (W/...)	4.845
Resistencia superficial (m ² -K/W)	0.040
Sin Puentes Térmicos	
Valor U de superficie a superficie (W/m ² -K)	46999.997
Valor R (m ² -K/W)	0.140
Valor U (W/m²-K)	7.142
Con puentes térmicos [BS EN ISO 6946]	
Límite superior de resistencia (m ² -K/W)	0.140
Límite inferior de resistencia (m ² -K/W)	0.140
Valor U de superficie a superficie (W/m ² -K)	47000.000
Valor R (m ² -K/W)	0.140
Valor U (W/m²-K)	7.142

Tabla 6.5. Tableta de programación de lámina en Design Builder. Valores térmicos

6.2.5. Modelo de lámina con vegetación

- La cubierta y los muros al sur tienen la siguiente conformación:
 - Cubierta de lámina de 1 mm de espesor, con los mismos valores térmicos descritos para lámina simple.
 - Membrana impermeable de pvc de 1mm (valores térmicos calculados en LES de la UAM Azcapotzalco).
 - Membrana de drenaje “Pavidren” de 10 mm de espesor (valores térmicos calculados en LES de la UAM Azcapotzalco).
 - Membrana de fibra de coco de 6mm (valores térmicos calculados en LES de la UAM Azcapotzalco).
 - Cuatro capas de plantas *Hylocereus undatus* de 6.25 mm de espesor c/u , intercaladas con tres capas de aire de 20 mm cada una (Tabla 6.6 A y B).

Editar cerramientos - Lamina_4_Capas_Plantas	
Cerramientos Datos	
Capas	Imagen
Sección	
Superficie interior	
1.00mm	Lmina_Galvanizada(no está a escala)
1.00mm	Membrana_PVC(no está a escala)
10.00mm	Membrana_Pavidren
6.00mm	Membrana_Coco
20.00mm	Pitahaya
20.00mm	Cavidad_Aire
20.00mm	Pitahaya_2
Superficie exterior	

A

Editar cerramientos - Lamina_4_Capas_Plantas	
Cerramientos Datos	
Capas	Imagen
Calculado	
Superficie interior	
Coeficiente de transferencia convectiva de calor [...]	4.460
Coeficiente de transferencia radiativa de calor (W/...)	5.540
Resistencia superficial (m2-K/W)	0.100
Superficie exterior	
Coeficiente de transferencia convectiva de calor [...]	20.691
Coeficiente de transferencia radiativa de calor (W/...)	4.309
Resistencia superficial (m2-K/W)	0.040
Sin Puentes Térmicos	
Valor U de superficie a superficie (W/m2-K)	3.024
Valor R (m2-K/W)	0.471
Valor U (W/m2-K)	2.125
Con puentes térmicos (BS EN ISO 6946)	
Límite superior de resistencia (m2-K/W)	0.471
Límite inferior de resistencia (m2-K/W)	0.471
Valor U de superficie a superficie (W/m2-K)	3.024
Valor R (m2-K/W)	0.471
Valor U (W/m2-K)	2.125

B

Tabla 6.6. Tableta de programación de lámina naturada en Design Builder. A. Sección. B. Valores térmicos

El resto de los muros, pisos y particiones del edificio se conservan con las mismas características del edificio general.

6.3. Materiales del Sistema Aligerado de Naturación

La conductividad, el calor específico y la densidad de los materiales incorporados al sistema de naturación aligerado fueron calculados en el Laboratorio de Energía Solar de la Universidad. Con estos datos se alimentaron las plantillas térmicas de materiales en Energy Plus (Tabla 6.7. A, B, C y D).

Tabla 6.7. Valores térmicos programados. A. Pitahaya. B. Membrana de Coco. C. Dren prefabricado. D. Membrana PVC.

Editar material - Pitahaya

Materiales Datos

General Propiedades superficiales Cubierta verde

General

Nombre Pitahaya

Descripción Cubierta vegetal de Pitahaya

Fuente

Categoría Maderas

Región General

Grosor predeterminado (m) 0.0060

☒ **Propiedades detalladas**

Propiedades de masa térmica global

Conductividad (W/m-K) 0.250

Calor específico (J/kg-K) 4938.0000

Densidad (kg/m3) 884.00

☐ Resistencia (valor R)

A

Editar material - Membrana_Coco

Materiales Datos

General Propiedades superficiales Cubierta verde

General

Nombre Membrana_Coco

Descripción Membrana Impermeabilizante de PVC

Fuente Experimental

Categoría Materiales aislantes

Región General

Grosor predeterminado (m) 0.0060

☒ **Propiedades detalladas**

Propiedades de masa térmica global

Conductividad (W/m-K) 0.120

Calor específico (J/kg-K) 960.0000

Densidad (kg/m3) 87.00

B

Editar material - Membrana_Pavidren

Materiales Datos

General Propiedades superficiales Cubierta verde

General

Nombre Membrana_Pavidren

Descripción Membrana de drenaje

Fuente Experimental

Categoría Materiales aislantes

Región General

Grosor predeterminado (m) 0.0100

☒ **Propiedades detalladas**

Propiedades de masa térmica global

Conductividad (W/m-K) 0.260

Calor específico (J/kg-K) 634.0000

Densidad (kg/m3) 90.00

C

Editar material - Membrana_PVC

Materiales Datos

General | Propiedades superficiales | Cubierta verde

General

Nombre Membrana_PVC

Descripción Membrana Impermeabilizante de PVC

Fuente Uralita

Categoría Materiales aislantes

Región General

Grosor predeterminado (m) 0.0010

Propiedades detalladas

Propiedades de masa térmica global

Conductividad (W/m-K) 0.190

Calor específico (J/kg-K) 1004.0000

Densidad (kg/m3) 1416.00

D

6.4. Ocupación y uso del edificio

Se plantea la ocupación del espacio evaluado en base a una plantilla prediseñada en Energy Plus llamada Dwell_DonBed. Se asignó esta plantilla por que considera el uso de dormitorio en una segunda planta con programación de ocupación por dos personas durante 5 días a la semana, que generan una carga térmica interna de 5 W/m². Esta ocupación genera consumos de energía eléctrica por uso de equipos e iluminación bombes de agua, consumo de gas por agua caliente en razón de 0.2 litros/m² de superficie (Tabla 6.8).

Tabla 6.8. Programación de ocupación y uso de espacio. Se programó un uso normal de dormitorio, por haberse evaluado el bloque 2 de la casa, donde se ubican los dormitorios.

Dwell_DomBed

An area primarily used for sleep.

Fuente UK NCT

Categoría VIVIENDA

Región General

Sector Dwelling

Días festivos

Días festivos No

Coloración del Suelo en el Modelo

Coloración de suelo

Ganancias totales

Carga (W/m2) 5

Detalles de ocupación

Densidad (personas/m2) 0.0200

Calor metabólico

Tasa metabólica Bedroom (dwelling)

Factor metabólico (0.85 mujeres, 0.75 ni... 0.90

Perfil de día laborable

Ocupación Desde 0 a 24

Días / semana 5

6.5. Desarrollo de las simulaciones

Las corridas térmicas se llevaron a cabo sobre el “Bloque 2” del edificio, que corresponde a la planta alta de la casa. Se llevó a cabo de esta manera para tener buen contraste de datos al registrar los efectos térmicos donde se da el intercambio más activo de calor y evitar que se redujera el efecto que se quiere registrar en los promedios que desarrolla el programa de las temperaturas repartidas en todo el edificio.

Se hicieron cuatro simulaciones sin sistemas de acondicionamiento mecánico, para obtener el comportamiento de la vegetación ante las condiciones climatológicas del sitio y comparar los resultados entre modelos de concreto, así como entre modelos de lámina:

SIMULACIONES SIN ACONDICIONAMIENTO MECÁNICO

Comparación entre modelos	• Simulación 1.	Casa con muros sur y techo de Concreto Simple.
	• Simulación 2.	Casa con muros sur y techo de Concreto con aplicación del Sistema de Naturación Aligerado.
Comparación entre modelos	• Simulación 3.	Casa con muros sur y techo de Lámina de acero Simple.
	• Simulación 4.	Casa con muros sur y techo de Lámina de acero con aplicación del Sistema de Naturación Aligerado.

Igualmente, para estimar el Impacto Energético que se puede desprender de la aplicación del Sistema de Naturación Aligerado, se llevaron a cabo otras cuatro simulaciones, una de cada modelo, esta vez con un sistema mecánico de acondicionamiento que consistió en enfriamiento en base a electricidad y calentamiento en base a gas:

SIMULACIONES CON ACONDICIONAMIENTO MECÁNICO → GAS Y ELECTRICIDAD Para determinar el Impacto Energético del Sistema

Comparación entre modelos	• Simulación 5.	Casa con muros sur y techo de Concreto Simple.
	• Simulación 6.	Casa con muros sur y techo de Concreto con aplicación del Sistema de Naturación Aligerado.
Comparación entre modelos	• Simulación 7.	Casa con muros sur y techo de Lámina de acero Simple.
	• Simulación 8.	Casa con muros sur y techo de Lámina de acero con aplicación del Sistema de Naturación Aligerado.

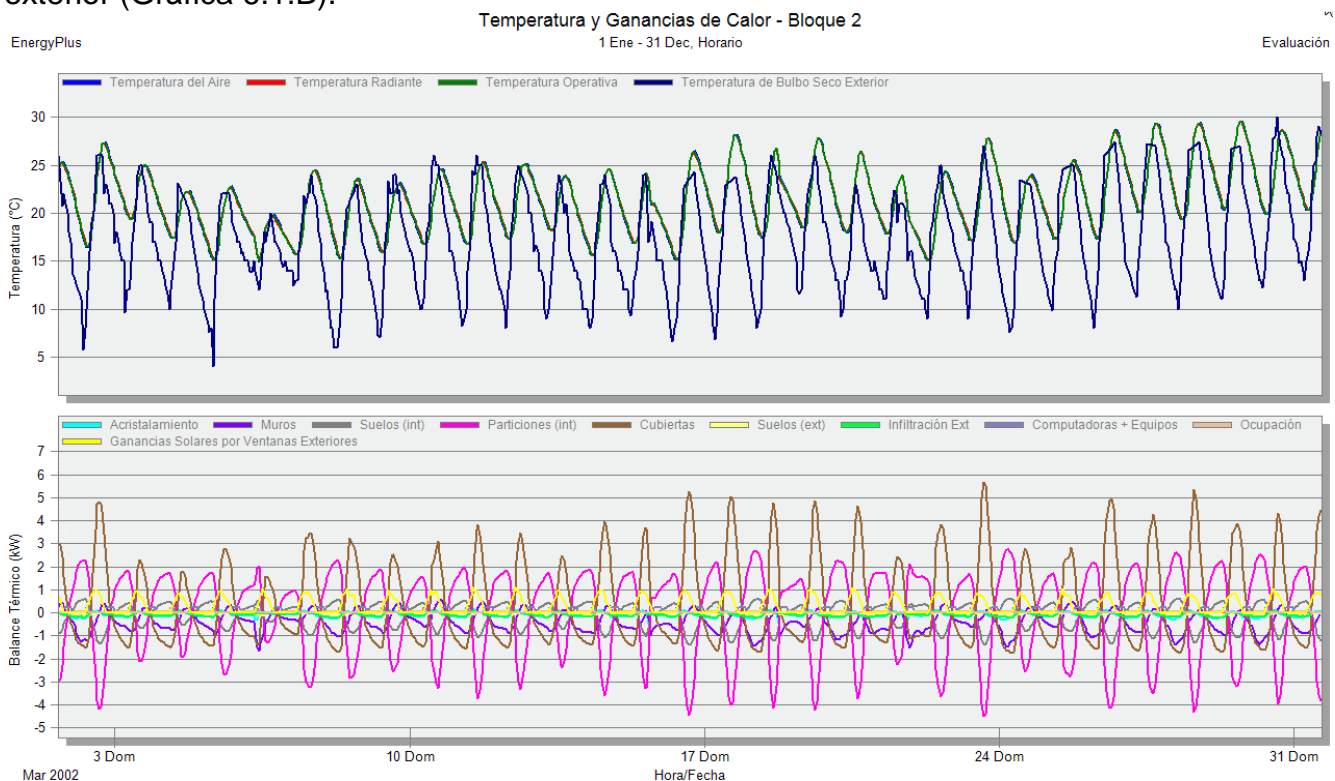
6.5.1. Simulación 1. Concreto Simple

Sin acondicionamiento mecánico, se realizó la corrida anual del comportamiento térmico del modelo de concreto simple, al que se le programó en la cubierta y los muros sur una envolvente de concreto armado de 10 cm de espesor.

6.5.1.1. Marzo

Las gráficas corresponden al 21 de marzo y días contiguos del 15 al 31, donde se puede apreciar en azul la curva de desarrollo de la TBS Exterior y en verde la curva de temperatura interior de la casa, que responde de manera casi inmediata a los cambios de la temperatura exterior durante el periodo diurno. La Zona de Confort mensual²⁴ se ubica entre los 20.9°C de la ZCi, y los 25.9°C de la ZCs. Podemos observar cómo aun cuando la TBS ext. se encuentre en dentro del rango de confort, la temperatura interior sobrepasa el límite superior (Gráfica 6.1.A). El 40% de los días tienen un periodo que sale de la ZCs. El 90% presenta disconfort por bajocalentamiento nocturno.

En la gráfica inferior se aprecia en color café la curva de comportamiento térmico de la cubierta, que destaca al ser el elemento constructivo que más gana calor, más lo cede y que aporta mayor oscilación al edificio. En magenta se aprecian ganancias y pérdidas de las particiones interiores, que sin embargo no impactan la relación de la envolvente con el exterior (Gráfica 6.1.B).



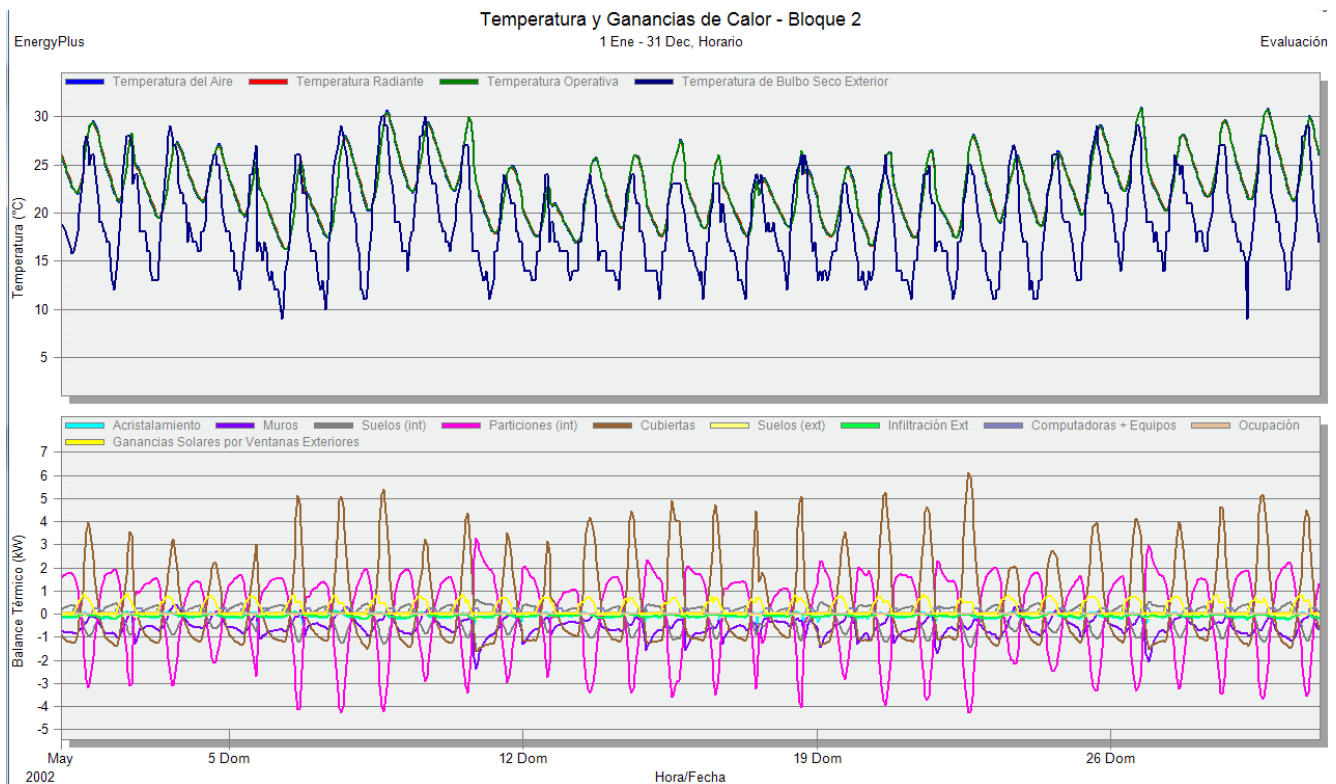
Gráficas 6.1. A. Temperaturas al interior del espacio y B. Temperaturas por elemento arquitectónico. Marzo.

²⁴ Zona en que el organismo humano tiene un buen funcionamiento fisiológico y psicológico, determinado en base a la zona neutra de confort mensual +2.5°C para la ZCs y -2.5°C para la ZCi.

6.5.1.2. Mayo

En el mes más cálido se observa que la curva de la temperatura interior (en verde) alcanza temperaturas superiores a los 30°C, situándose fuera de la zona superior de confort mensual que se encuentra entre los 21.4°C de la ZCi, y los 26.4°C de la ZCs. Así como el concreto permite ganancias de calor fuera de la ZCs en el día, que producirán efectos negativos en los habitantes, permite que el calor se pierda en la noche y se rebase la SCi propiciando condiciones de bajocalentamiento interior en la época más cálida. Sin embargo, el concreto sí contribuye a reducir la oscilación diaria de la TBS ext. (Gráfica 6.2.A). El 56% de los días tienen periodos de sobrecalentamiento. El 70 % de los días entra en discomfort por bajocalentamiento nocturno.

En la gráfica inferior se muestra que la curva de la cubierta de concreto (en café) alcanza crestas superiores los 6 kW diarios de calentamiento (Gráfica 6.2.B).

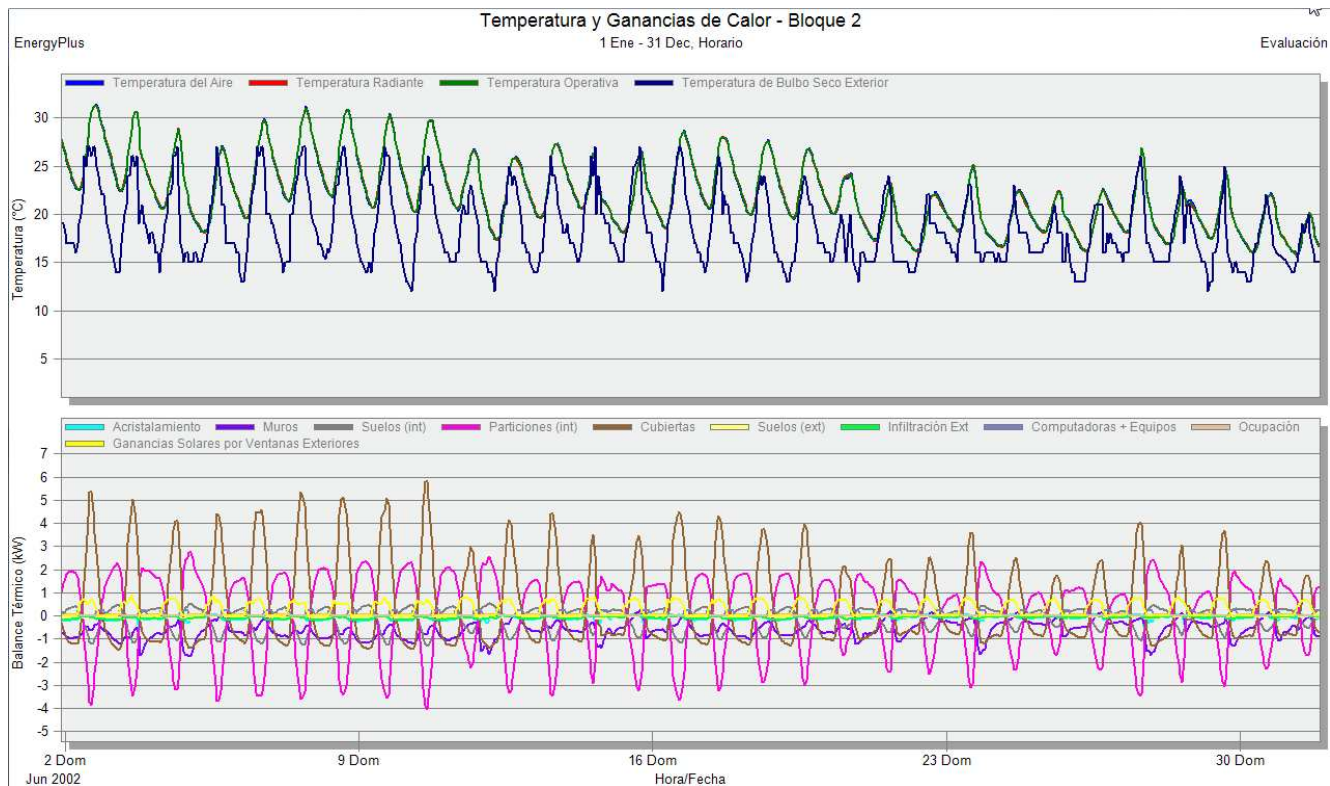


Gráficas 6.2. A. Temperaturas al interior del espacio y B. Temperaturas por elemento arquitectónico. Mayo.

6.5.1.3. Junio

En este mes se conserva la tendencia curvas y se hace notar que hacia el día 30 se igualan las temperaturas diurnas del exterior y del interior de la casa, debido al efecto de la lluvia y convección. La zona de confort mensual se sitúa entre 21.1°C y 26.1°C. Las peores condiciones de desconfort se aportan durante el día, lo que muestra la necesidad de aportar mayor resistencia a la cubierta que la ofrece el concreto simple (Gráfica 6.3.A). El 53% de los días tienen un periodo que rebasa la ZCs. El 70% de los días presenta desconfort por bajocalentamiento nocturno.

La ganancia mayor de calor, así como la oscilación más amplia siempre corresponde a la cubierta de concreto. Se puede notar igualmente que los demás elementos constructivos, y sobre todo el piso aportan poco intercambio térmico, lo que evidencia que el flujo térmico se está dando a través de la cubierta y muros sur que son variables, efecto que era buscado en estas simulaciones para evaluar las diferencias entre los sistemas (Gráfica 6.3.B).

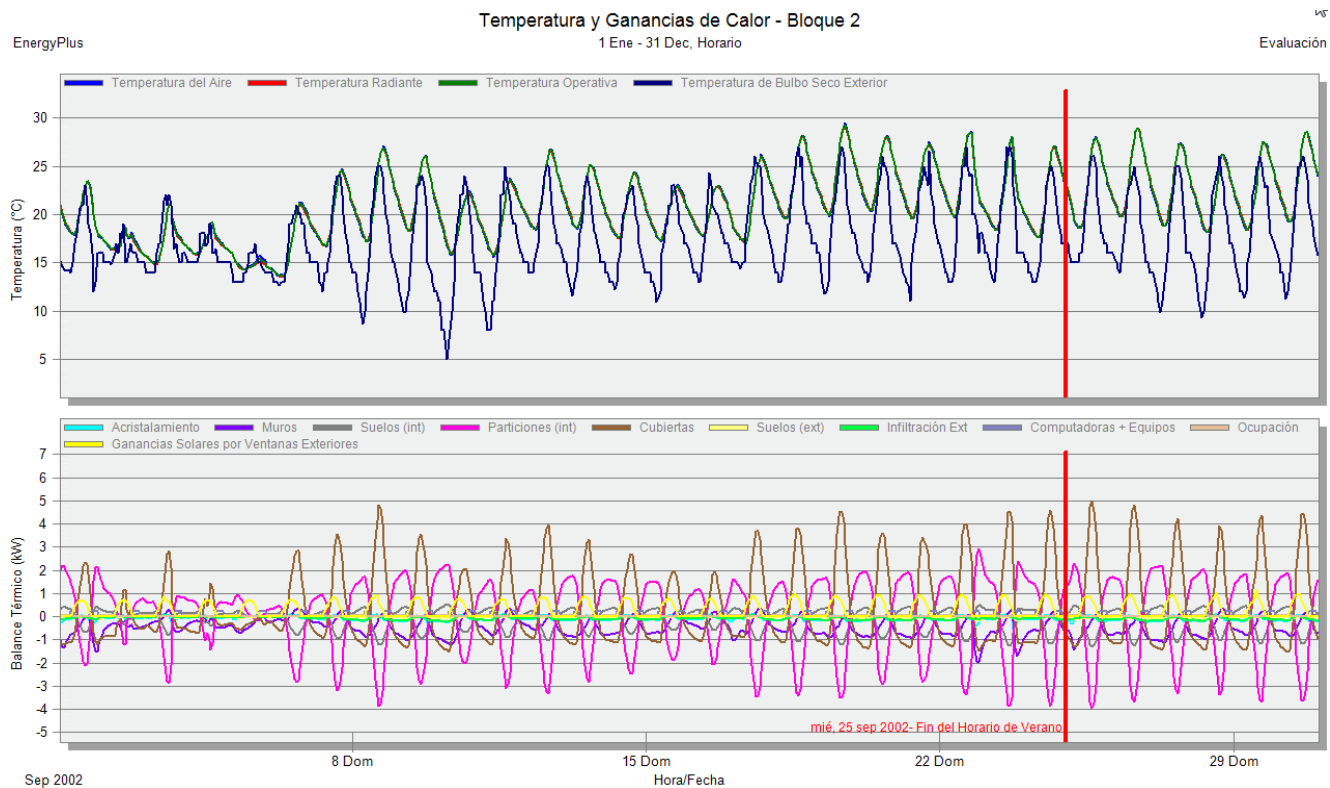


Gráficas 6.3. A. Temperaturas al interior del espacio y B. Temperaturas por elemento arquitectónico. Junio.

6.5.1.4. Septiembre

Para este mes se conservan los desarrollos de las curvas, tanto de la TBS Exterior, como del interior del espacio. Se puede notar también que después de la cubierta, los elementos que más tienen intercambio térmico con el exterior son los muros -en violeta- (Gráficas 6.4.A). para este mes la zona de confort se sitúa entre los 20.8 y 25.8°C. El 93% de los días tienen un periodo que sale de la ZCs. El 80% de los días presenta desconfort por bajocalentamiento nocturno.

Para este mes se conservan los desarrollos de las curvas, tanto de la TBS Exterior, como del interior del espacio. Se puede notar también que después de la cubierta, los elementos que más tienen intercambio térmico con el exterior son los muros -en violeta- (Gráficas 6.4.B).

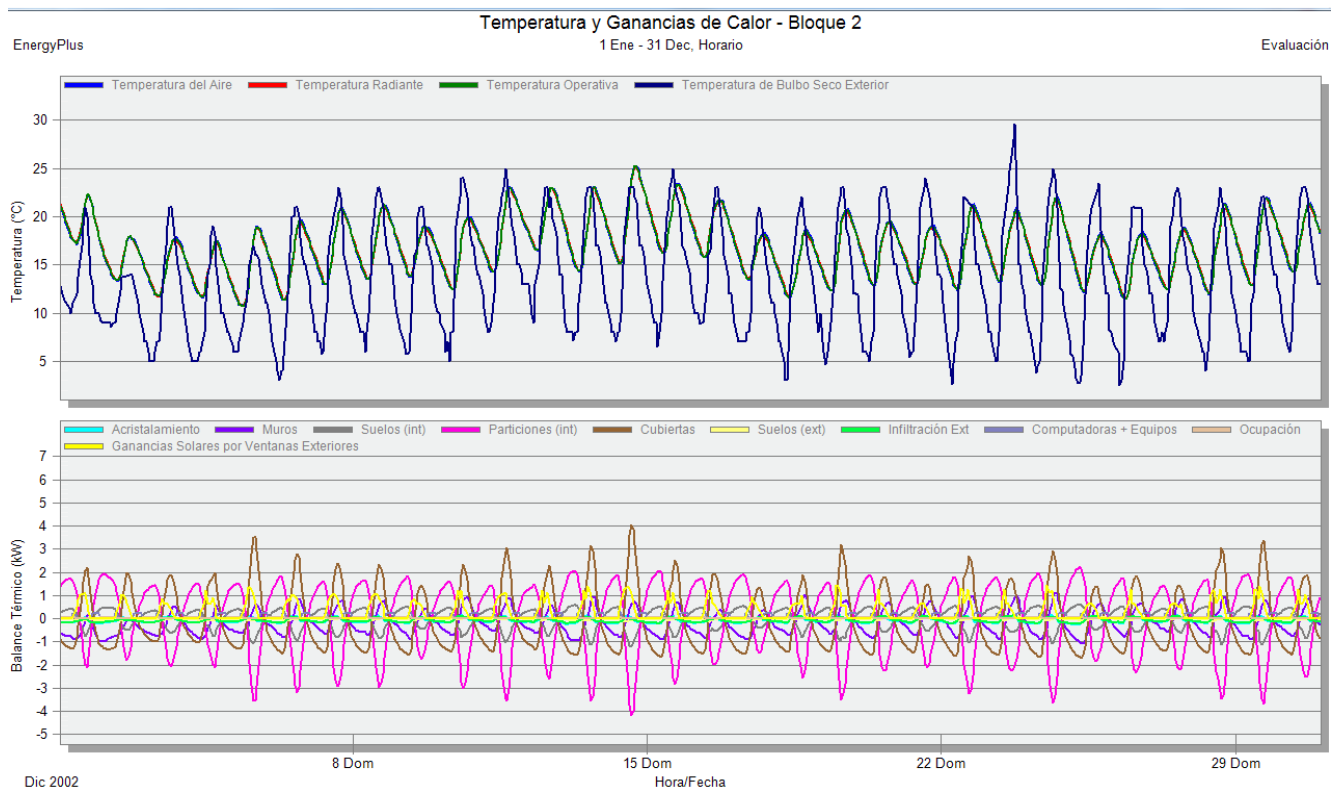


Gráficas 6.4. A. Temperaturas al interior del espacio y B. Temperaturas por elemento arquitectónico. Septiembre.

6.5.1.5. Diciembre

En diciembre aumenta la distancia entre los valles de la TBS Exterior y los de la curva de T interior. Se tienen en esta época mayores ganancias directas por ventanas. Las temperaturas diurnas casi se igualan entre la TBS ext. y la interior. La zona de confort mensual se ubica entre los 19.8°C y los 24.8°C. Durante el día, las temperaturas interiores apenas consiguen entrear a la zona de confort, y durante la noche se encuentran siempre debajo de la misma. (Gráfica 6.5.A). El 3% de los días tienen un periodo que sale de la ZCs. El 100% de los días presenta disconfort por bajocalentamiento nocturno.

Lo antes mencionado se muestra en la gráfica inferior, donde las ganancias solares directas son representadas por la línea amarilla (Gráfica 6.5.B).



Gráficas 6.5. A. Temperaturas al interior del espacio y B. Temperaturas por elemento arquitectónico. Diciembre.

En el 46.4% de los días simulados, se presentaron períodos de disconfort por sobrecalentamiento durante el día, en cada caso con magnitudes diferentes. Asimismo, en todos los meses simulados, se presentó disconfort por bajocalentamiento en el 84.6% de los días. Este análisis nos deja ver que para la ciudad de México el concreto simple no promueve temperaturas de confort al interior de una casa de este tipo. Igualmente reafirma el análisis de días grado, donde se marca la necesidad de calentamiento.

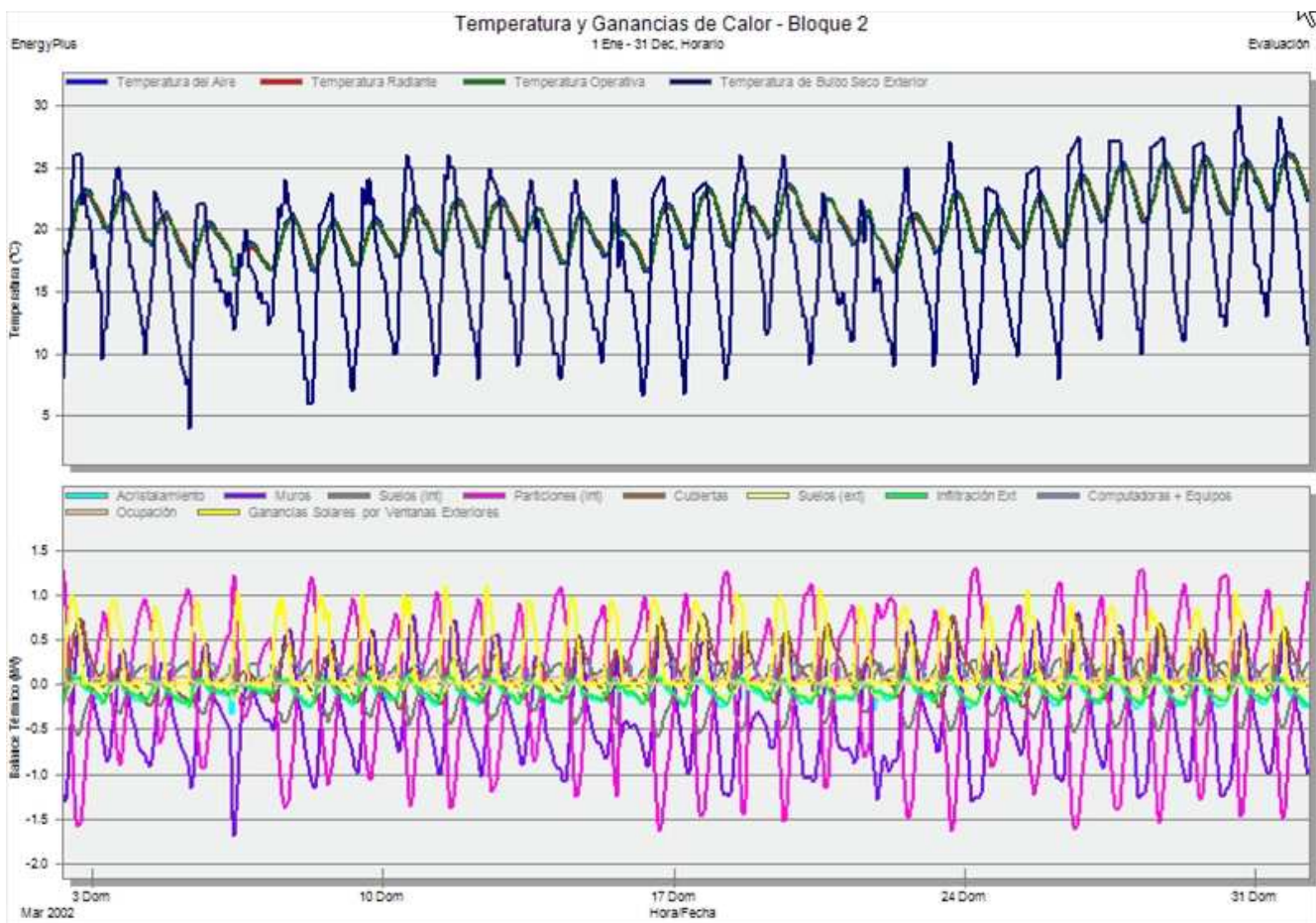
6.5.2. Simulación 2. Concreto con Pitahaya

Al modelo de concreto agrega el sistema de naturación en su envolvente.

6.5.2.1. Marzo

Se muestran en la gráfica superior las curvas de temperaturas interiores (en color verde) propiciadas por el sistema de naturación sobre concreto en este mes, reducen considerablemente la admisión de calor en el día y en menor medida, la pérdida del mismo en la noche, y por lo tanto la oscilación. La zona de confort mensual se ubica entre la los 20.9°C de la ZCi, y los 25.9°C de la ZCs. (Gráfica 6.6.A). El 3% de los días tienen un periodo que sale de la ZCs. El 83% de los días presenta desconfort por bajocalentamiento nocturno.

En la gráfica inferior se muestra la reducción de los picos de admisión de calor de la cubierta, haciéndose más importante la ganancia solar directa a través de las ventanas, aún cuando la declinación solar estacional no es tan horizontal en este mes. Las curvas en magenta no deben tenerse en cuenta ya que no participan en el intercambio de calor de la envolvente (Gráfica 6.6.B).

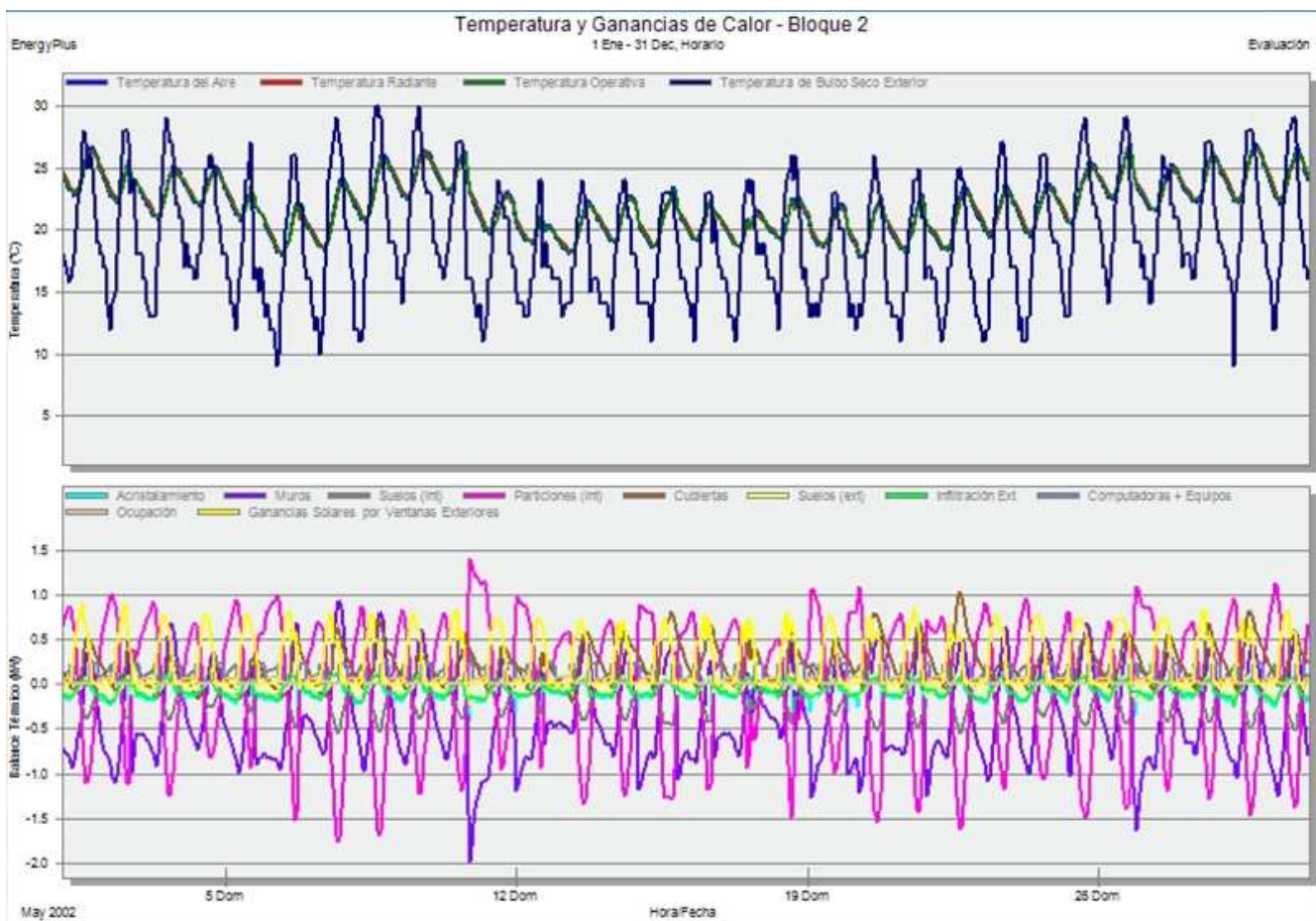


Gráficas 6.6. A. Temperaturas al interior del espacio y B. Temperaturas por elemento arquitectónico. Marzo.

6.5.2.2. Mayo

En este mes, cuando la TBS exterior en el día 9 y 10 alcanza los 30°C la temperatura interior se mantiene cerca de los 25°C. Este aspecto se muestra de manera numérica en el análisis comparativo desarrollado más adelante. Se reduce considerablemente la oscilación térmica, acercando las temperaturas nocturnas a la zona inferior de confort. La zona de confort mensual se encuentra entre los 21.4°C de la ZCi, y los 26.4°C de la ZCs. Con la aplicación de vegetación la temperatura interior en el día rebasa la ZCs por apenas uno o dos grados. (Gráfica 6.7.A). El 10% de los días tienen un periodo que sale de la ZCs. El 53% de los días presenta discomfort por bajocalentamiento nocturno.

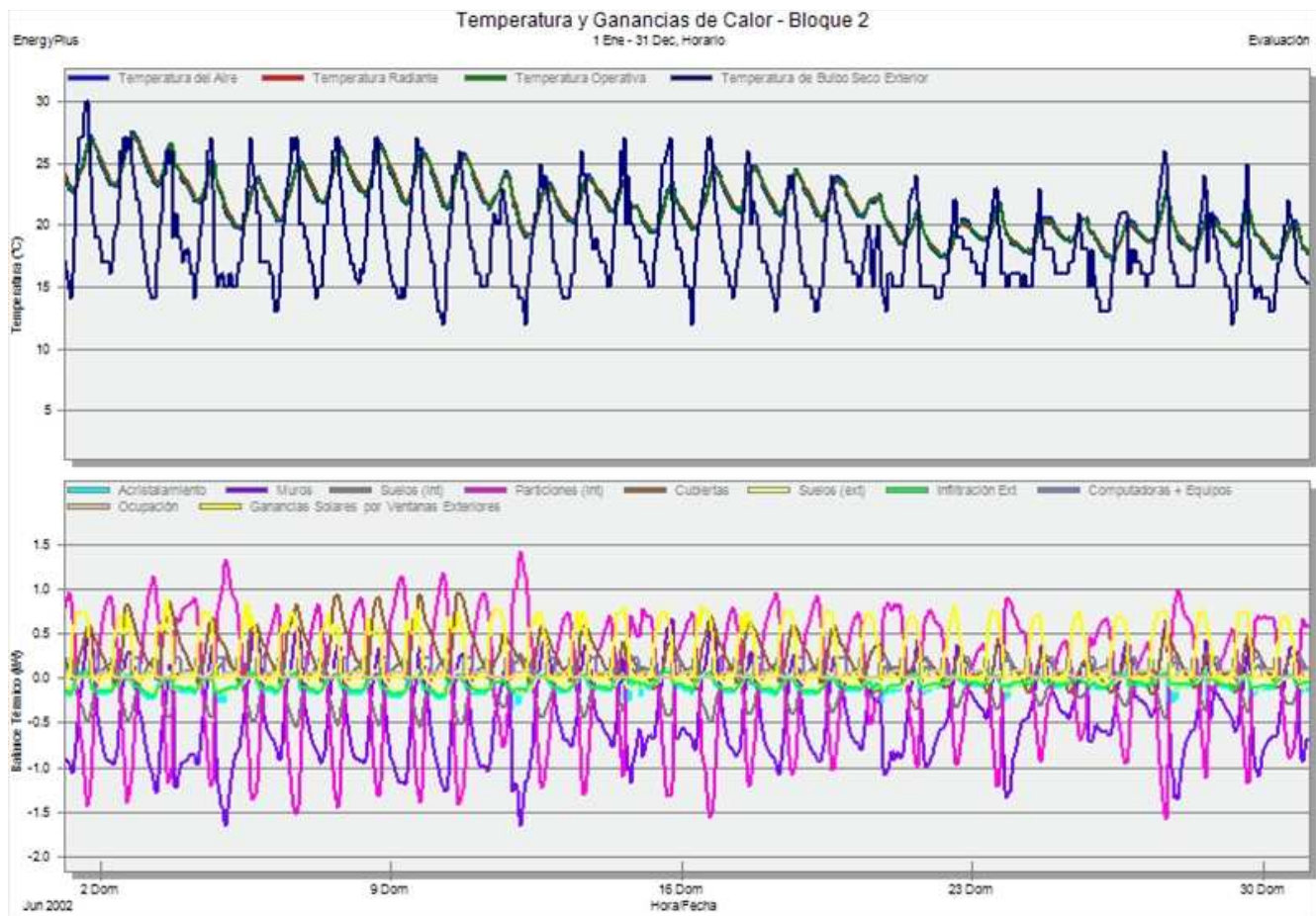
Nuevamente se aprecia la disminución de la admisión de calor en la cubierta, haciéndose más importante la ganancia solar directa en la admisión de calor, y a este respecto hacemos notar que las ventanas tienen vidrio claro sencillo de 6 mm de espesor, sin ningún tipo de dispositivo de control solar (Gráfica 6.7.B).



Gráficas 6.7. A. Temperaturas al interior del espacio y B. Temperaturas por elemento arquitectónico. Mayo.

6.5.2.3. Junio

En esta gráfica se nota que en el mes cuando radiación es menor debido a que es el que presenta mayor dominancia de nubosidad, la temperatura interior se mantiene muy próxima a la zona de confort al igual que la TBS Exterior durante el día. La temperatura nocturna se mantiene por encima de la ZCi, aun cuando la TBS Exterior llega a estar por debajo de los 15°C(Gráfica 6.8.A). Los elementos arquitectónicos que más ganan y pierden calor del exterior son los muros, en color morado (Gráfica 6.7.B). la zona de confort mensual se sitúa entre 21.1°C y 26.1°C. El 16% de los días tienen un periodo que sale de la ZCs. El 53% de los días presenta desconfort por bajocalentamiento nocturno.

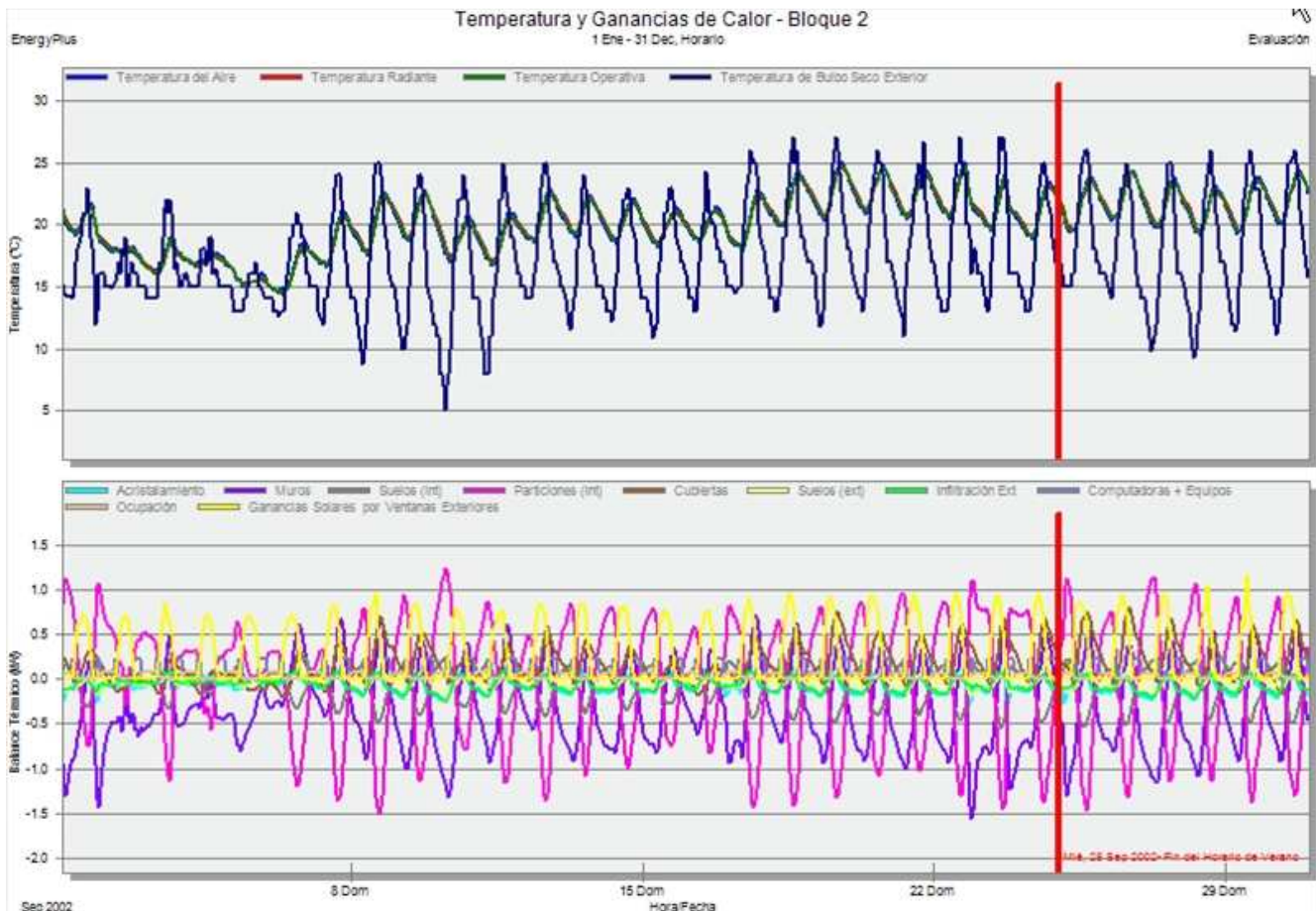


Gráficas 6.8. A. Temperaturas al interior del espacio y B. Temperaturas por elemento arquitectónico. Junio.

6.5.2.4. Septiembre

La temperatura interior se mantiene dentro de la zona de confort gran parte del mes ubicada entre 20.8°C y 25.8°C, reduciéndose considerablemente la oscilación térmica de la TBS exterior. Las condiciones de bajocalentamiento de mayor magnitud se presentan cuando hay presencia de lluvia, períodos en los cuales la temperatura operativa es casi igual a la TBS est. (Gráfica 6.9.A). Para este mes la zona de confort se sitúa entre 20.8°C y 25.8°C. El 0% de los días tienen un periodo que sale de la ZCs. El 76% de los días presenta desconfort por bajocalentamiento nocturno.

Para este mes, aun cuando la declinación solar se encuentra sobre los 80° al sur, las ganancias solares directas por ventanas aportan mayor calor al interior que la cubierta (Gráfica 6.9.B).

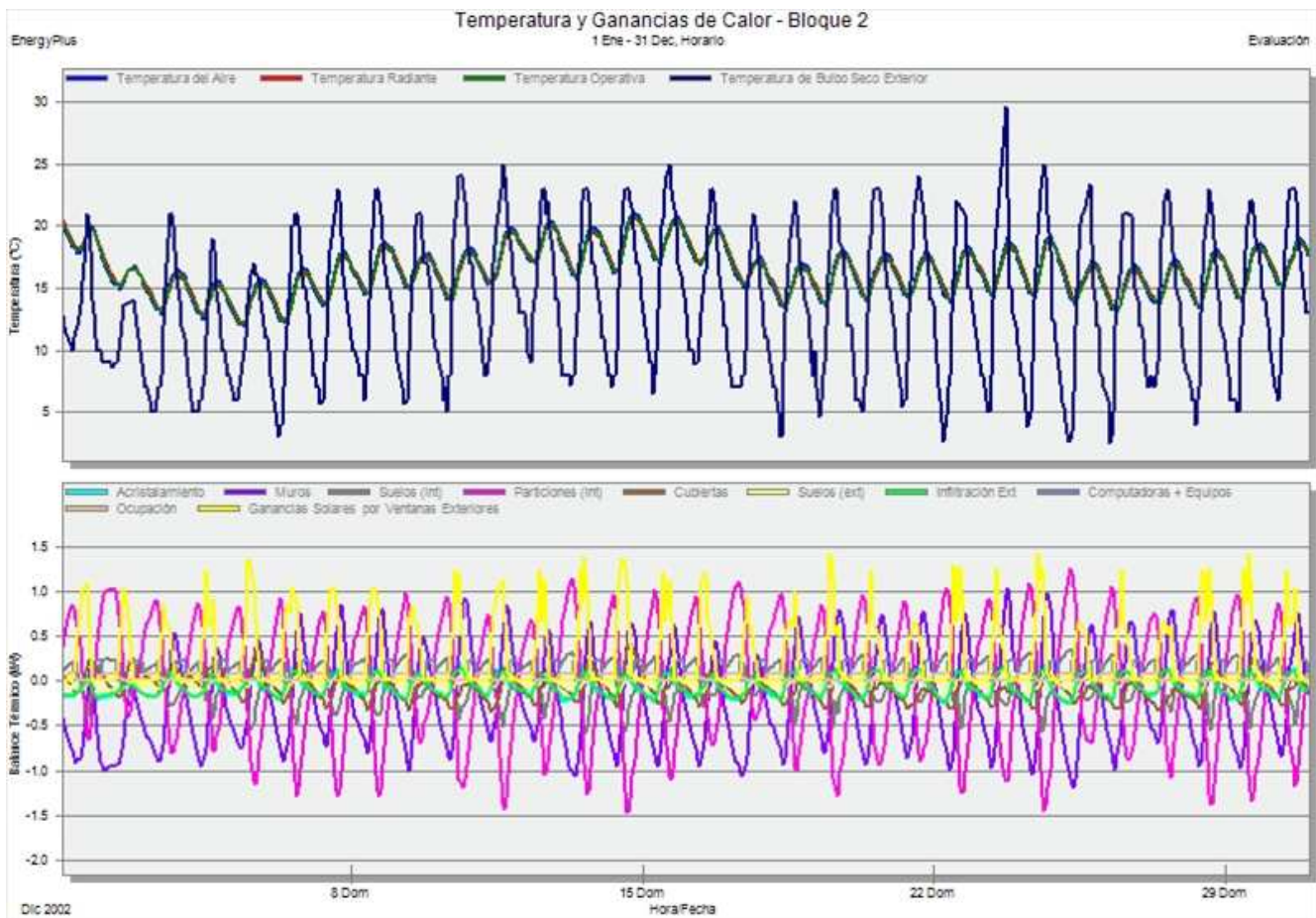


Gráficas 6.9. A. Temperaturas al interior del espacio y B. Temperaturas por elemento arquitectónico. Septiembre.

6.5.2.5. Diciembre

Las curvas de temperaturas interiores se estabilizan, reduciéndose de manera importante la oscilación térmica de la TBS exterior -en azul- (Gráfica 6.10.A). Para este mes la zona de confort se sitúa entre 19.8°C y 24.8°C. El 0% de los días tienen un periodo que sale de la ZCs. El 100% de los días presenta disconfort por bajocalentamiento nocturno.

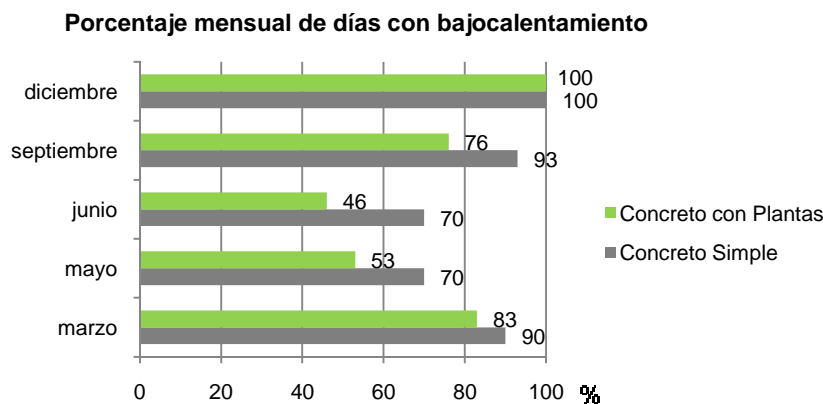
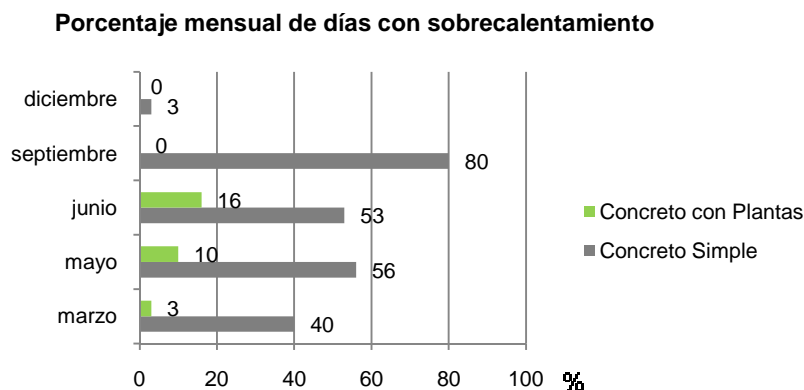
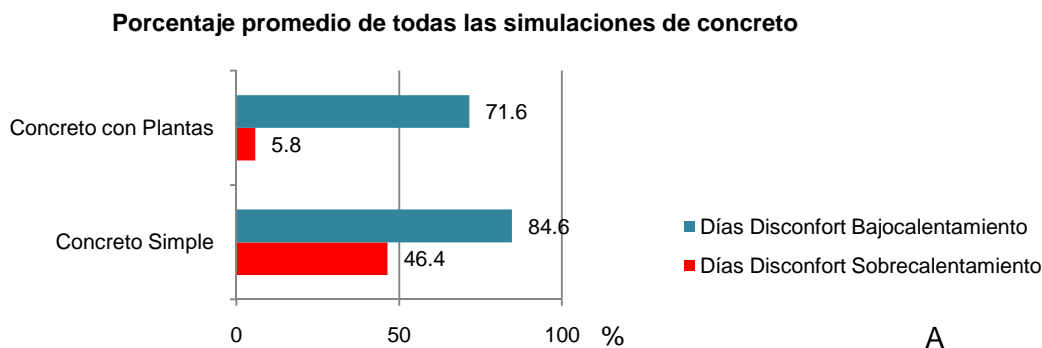
En este mes las ganancias solares directas por ventanas (en color amarillo) son las que aportan el mayor calentamiento, cuando el sol tiene la declinación más horizontal al sur. Las cubiertas (en línea café) y los muros exteriores (línea morada) son los elementos que tienen mayor pérdida de calor en el periodo nocturno, por lo que el sistema de naturación debe ser complementado con otras estrategias, como masividad o aislamiento ligero de cubiertas y muros para lograr el confort con medios pasivos (Gráfica 6.10.B).



Gráficas 6.10. A. Temperaturas al interior del espacio y B. Temperaturas por elemento arquitectónico. Diciembre.

Comparando los resultados que arroja el modelo de Concreto naturado, con el de Concreto Simple, el primero reduce en 40.6% los días que entraron en disconfort comparado con el de concreto simple. En esta medida gruesa se aprecia la contribución de la vegetación a reducir los picos de disconfort. Asimismo, en todos los meses simulados, se presentó disconfort por

bajocalentamiento nocturno en el 71.6% de los días, lo que significa una reducción del 13% de días que entran en disconfort por bajocalentamiento nocturno respecto al concreto simple. Si bien la aportación del sistema a la conservación de calor en la noche es modesta, el efecto es positivo (Gráficas 6.10.1.A, B y C).



Gráficas 6.10.1.A Porcentaje promedio de todas las simulaciones, de los días que entran en disconfort, comparativo entre los modelos de Concreto Simple y Concreto Naturado. Se aprecia el mejoramiento térmico que aporta la vegetación, sobre todo en evitar sobrecalentamiento diurno; B. Porcentaje mensual de días con sobrecalentamiento. El mejoramiento de la cubierta es más notable en septiembre; C. Porcentaje mensual de días con bajocalentamiento nocturno. Es menor el mejoramiento térmico para conservar calor con vegetación.

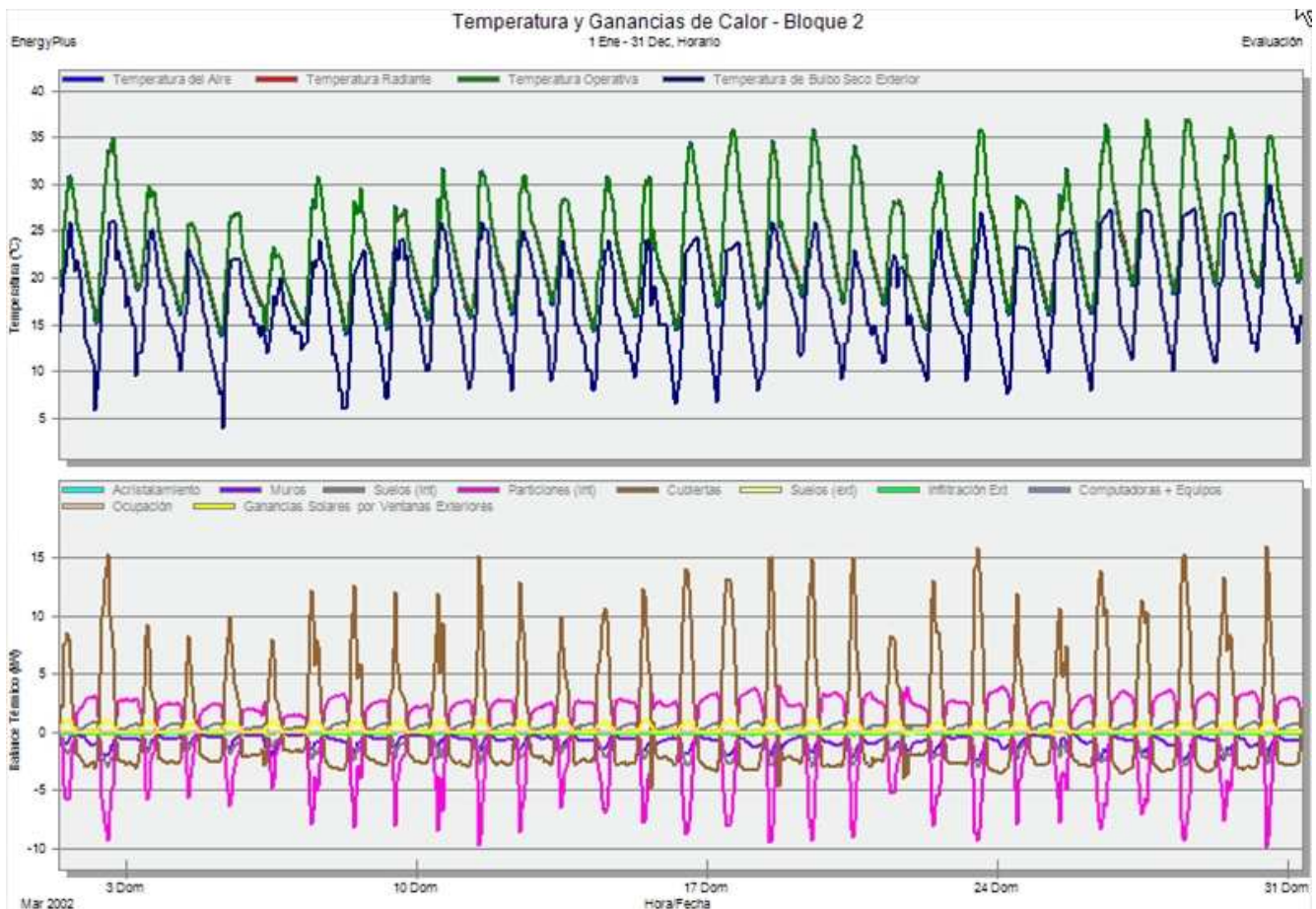
6.5.3. Simulación 3. Lámina Simple

Se dispuso una cubierta de lámina galvanizada simple, de 1 mm de espesor en la cubierta y en los muros al sur de la edificación.

6.5.3.1. Marzo

La curva vrede de teperatura al interior del espacio, con la cubierta y muros sur de lámina simple presenta picos de ganancia de calor durante el día que rebasa la TBS Exterior, así como valles que son caso paralelos a la TBS exterior durante la noche. La respuesta de la lámina a los cambios de temperatura es inmediata, mostrándonos la nula capacidad de aportar confort al interior (Gráfica 6.11.A). El 97% de los días presenta desconfort por sobrecalentamiento del espacio en el día y el 100% de los días se presenta bajocalentamiento nocturno, al salir las temperaturas de la zona de confort situada entre los 20.9°C y los 25.9°C, para este mes.

En la gráfica inferior se muestra que la cubierta (línea café) es el elemento constructivo que tiene mayor absortancia y conduce más calor al interior del espacio (Gráfica 6.11.B).

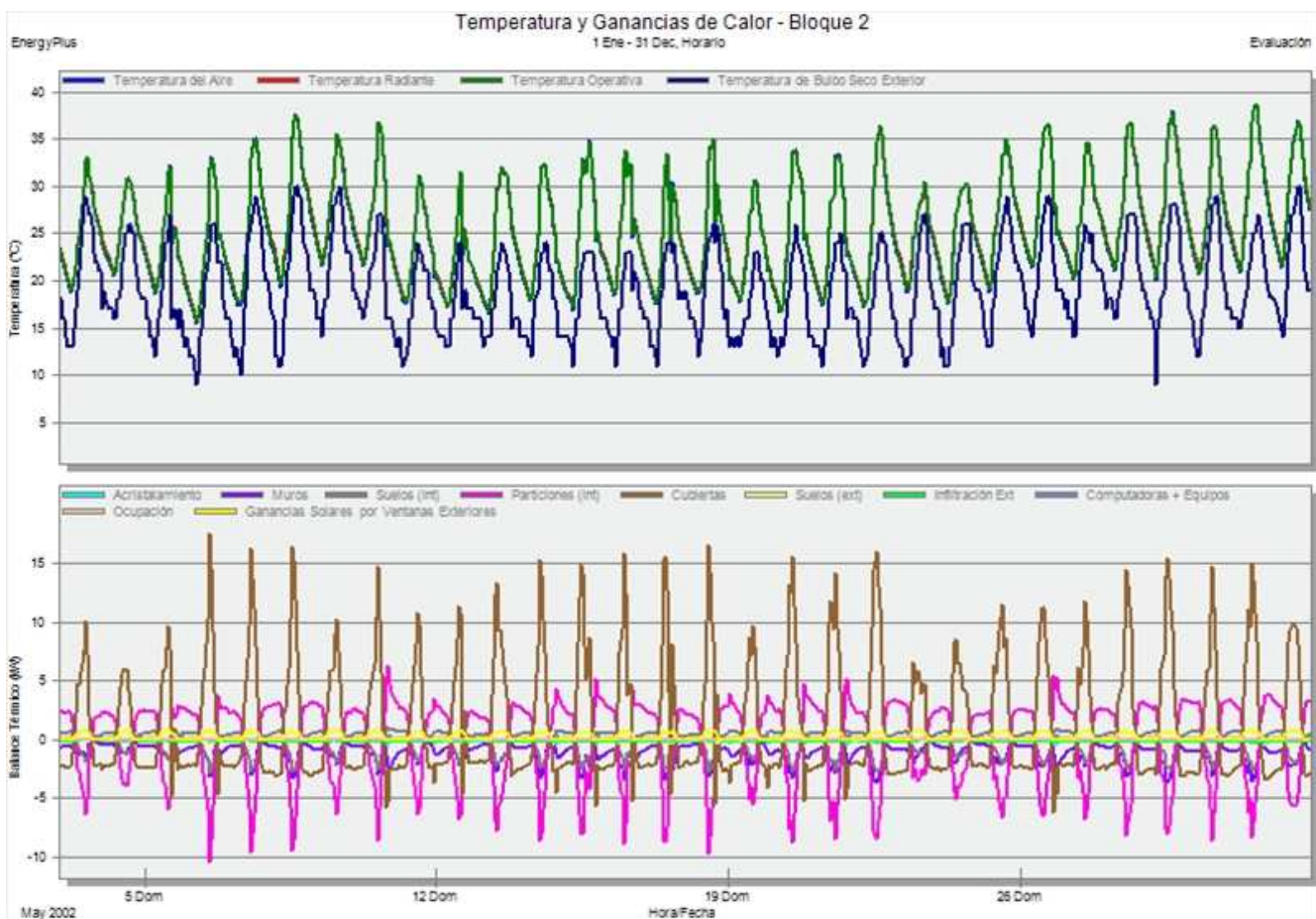


Gráficas 6.11. A. Temperaturas al interior del espacio y B. Temperaturas por elemento arquitectónico. Marzo.

6.5.3.2. Mayo

En este mes, se presentan al interior temperaturas casi 10°C por encima de la ZCs mensual, y más de 5°C superiores a la TBS Exterior, lo que habla de condiciones térmicas muy desfavorables para la salud humana. A su vez esta condición provoca que llevar este espacio a la zona de confort por medios mecánicos implica gastos mayores en consumo energético, aspecto que se dimensionará más adelante (Gráfica 6.12.A). El 100% de los días se presenta disconfort por sobrecalentamiento del espacio en el día y el 70% de los días se presenta bajocalentamiento nocturno, al salir las temperaturas de la zona de confort situada entre los 21.4°C y los 26.4°C, para este mes.

El balance térmico por elementos constructivos muestra que la cubierta es el elemento constructivo que más gana calor, llegando a admitir hasta 17 kW el día 7 del mes más cálido (Gráfica 6.12.B).

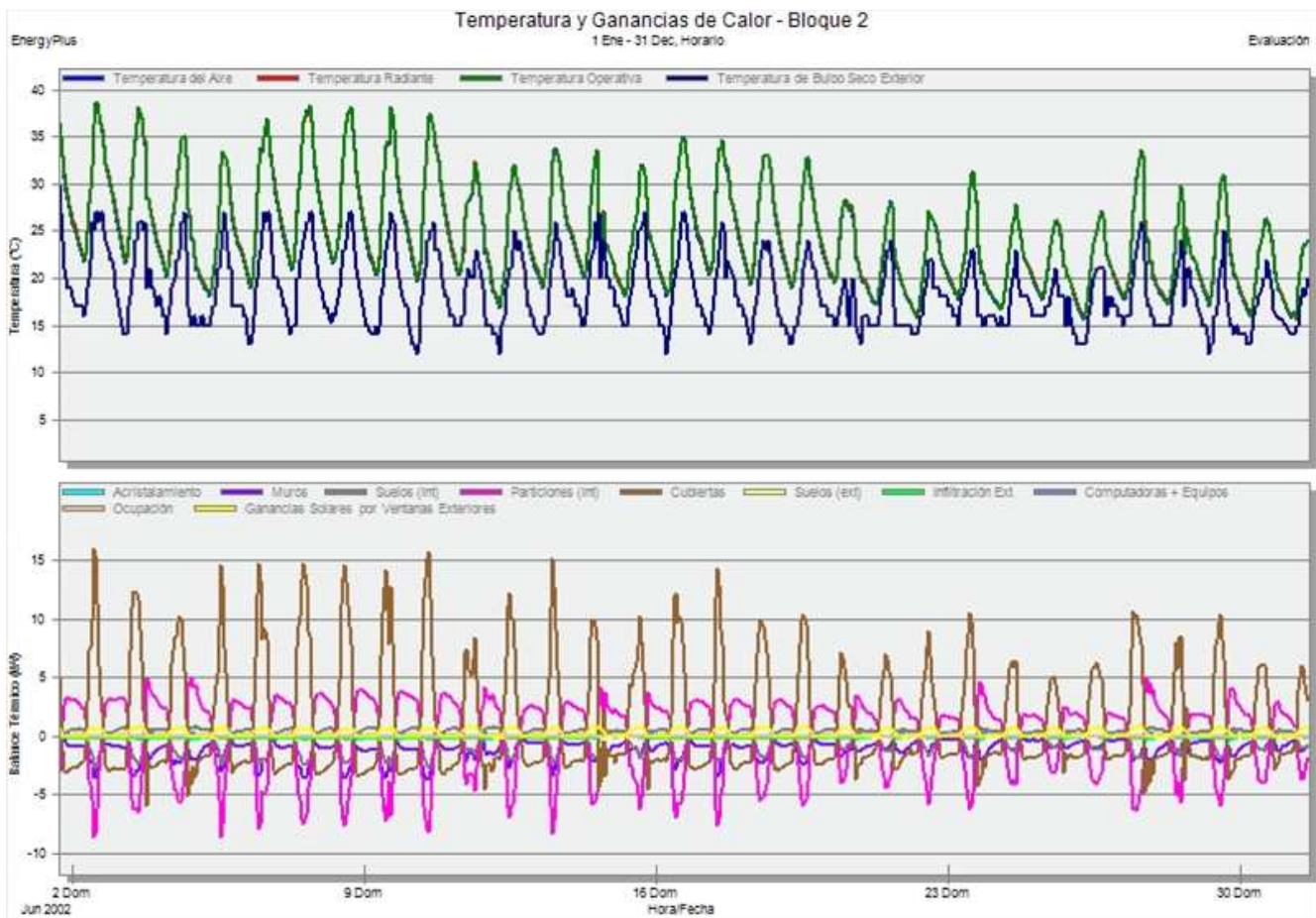


Gráficas 6.12. A. Temperaturas al interior del espacio y B. Temperaturas por elemento arquitectónico. Mayo.

6.5.3.3. Junio

Durante el día, la ganancia de calor al interior del espacio supera los 35°C durante siete días, a pesar de que es un mes con presencia de lluvia, domina la incidencia de radiación solar sobre la cubierta para sobrecalentar el edificio (Gráfica 6.13.A). El 94% de los días se presenta disconfort por sobrecalentamiento del espacio en el día y el 74% de los días se presenta bajocalentamiento nocturno, al salir las temperaturas de la zona de confort situada entre los 21.1°C y los 26.1°C, para este mes.

Igual que en los demás casos es siempre la cubierta el elemento de más intercambio térmico con el exterior (Gráfica 6.13.B).

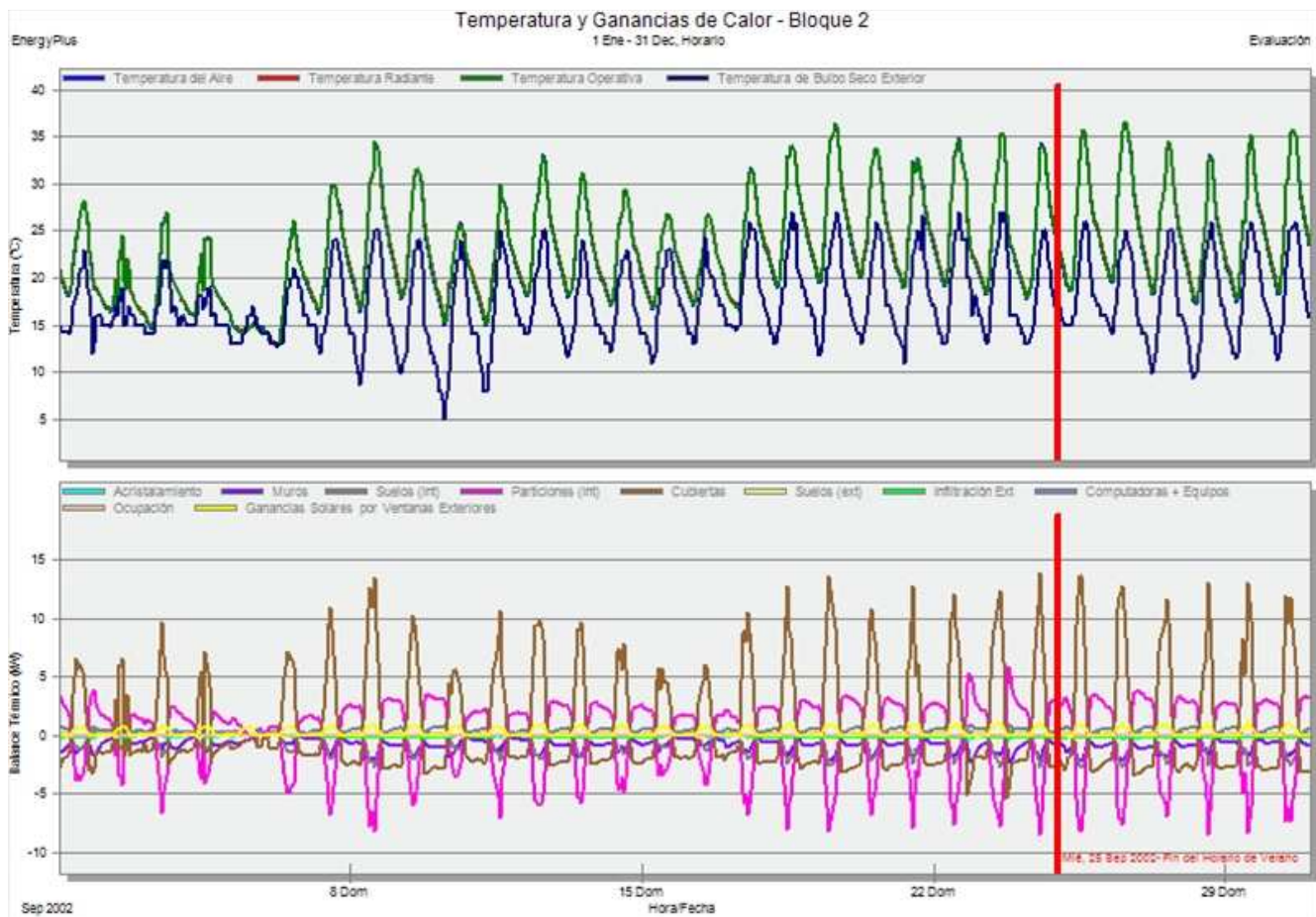


Gráficas 6.13. A. Temperaturas al interior del espacio y B. Temperaturas por elemento arquitectónico. Junio.

6.5.3.4. Septiembre

Para este mes se mantiene la tendencia de la temperatura interior a presentar picos de sobrecalentamiento durante el día, alcanzando temperaturas mayores a los 35°C y menores a 15°C durante la noche (Gráfica 6.14.A). El 86% de los días presenta discomfort por sobrecalentamiento del espacio en el día y el 96% de los días se presenta bajocalentamiento nocturno, al salir las temperaturas de la zona de confort situada entre los 20.8°C y los 25.8°C, para este mes.

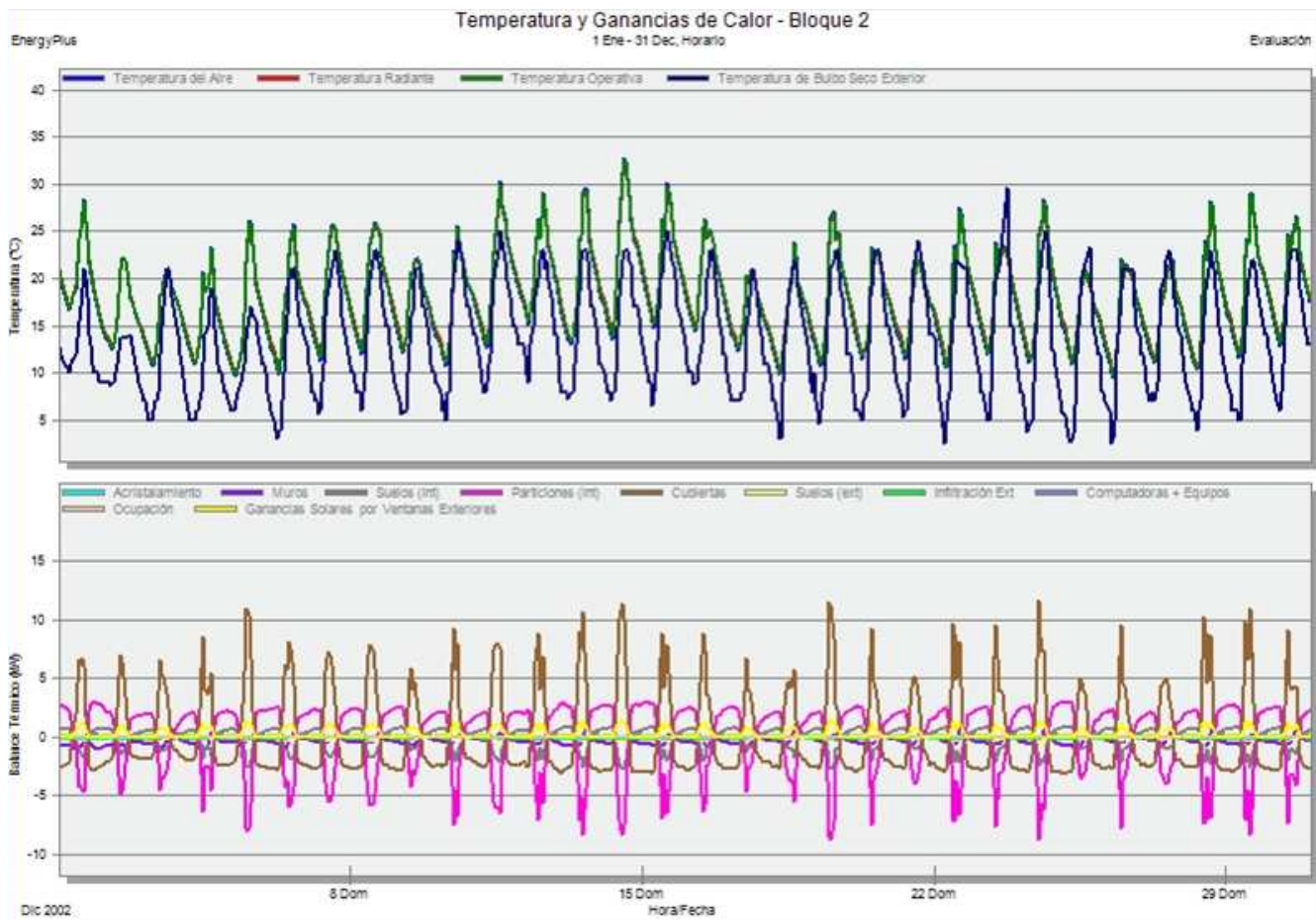
En este mes la declinación, del sol muy cercano al cenit para esta latitud deja ver su efecto al ser la cubierta el elemento que más gana calor en el día. Igualmente es el elemento que más lo cede durante la noche. (Gráfica 6.14.B).



Gráficas 6.14. A. Temperaturas al interior del espacio y B. Temperaturas por elemento arquitectónico. Septiembre.

6.5.3.5. Diciembre

Para este mes, dada la declinación solar tan horizontal al sur, la temperatura interior es casi igual a la TBS Exterior durante el día. El comportamiento que más desfavorece el confort es el bajocalentamiento nocturno que lleva la temperatura interior a ser casi igual a la exterior, en la época más fría del año, alcanzando los 5°C (Gráfica 6.15.A). El 53% de los días presenta discomfort por sobrecalentamiento del espacio en el día y el 100% de los días se presenta bajocalentamiento nocturno, al salir las temperaturas de la zona de confort situada entre los 19.8°C y los 24.8°C, para este mes. Pese a la declinación solar, el elemento que más gana calor es la cubierta, representada por la línea en color café (Gráfica 6.15.B).



Gráficas 6.15. A. Temperaturas al interior del espacio y B. Temperaturas por elemento arquitectónico. Diciembre.

En el 86% de los días simulados, se presentaron períodos de discomfort por sobrecalentamiento durante el día, en cada caso con magnitudes diferentes. Asimismo, en todos los meses simulados, se presentó dsiconfort por bajocalentamiento en el 88% de los días. Este análisis nos deja ver que para la ciudad de México la lámina simple promueve discomfort al interior de una casa de este tipo. Igualmente reafirma el análisis de días grado, donde se marca la necesidad de calentamiento.

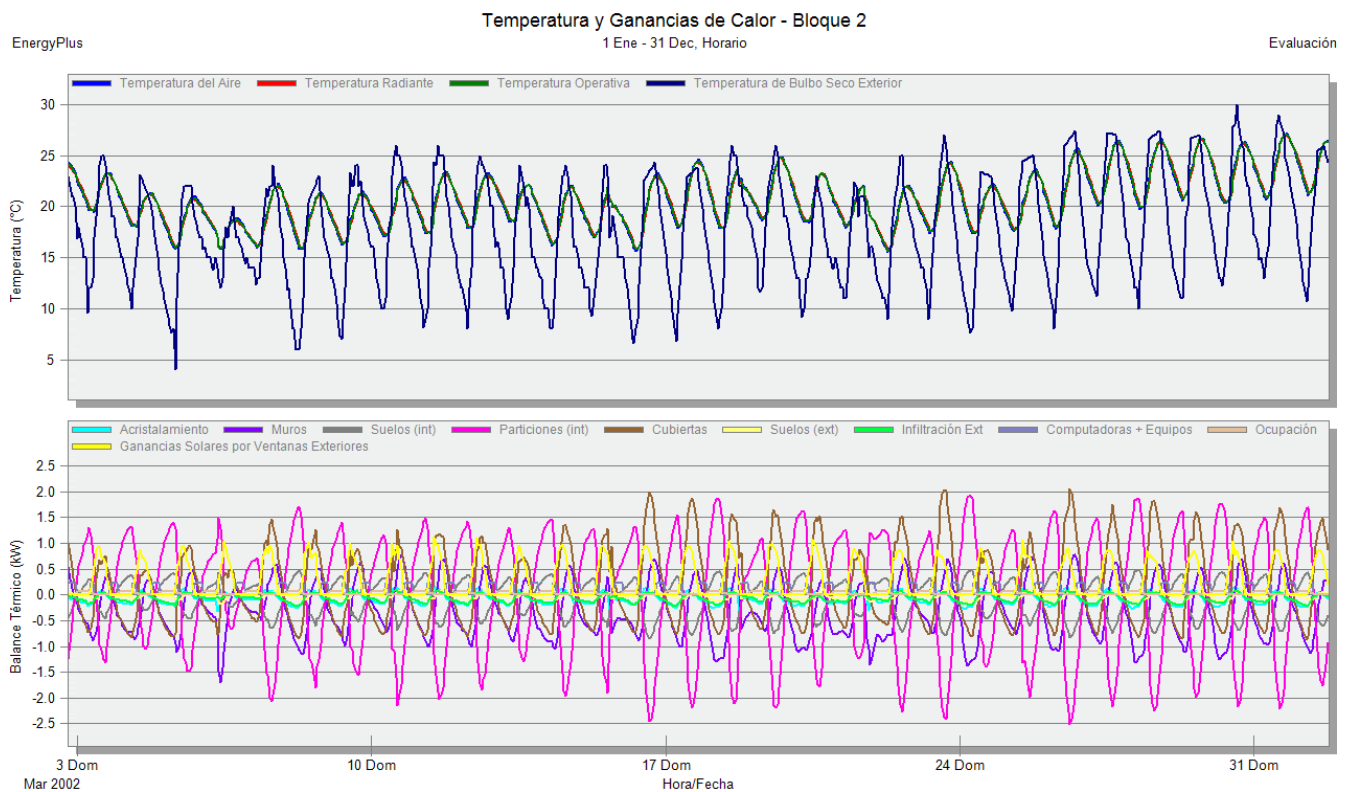
6.5.4. Simulación 4. Lámina Naturada

Se consideró en la cubierta una base de lámina galvanizada de 1 mm de espesor, con 4 capas de plantas, intercaladas con cavidades de aire que se forman entre los lomos de las plnatas. El modelo de acomodo de la planta se simplificó para poder ser analizado en Energy Plus, los huecos sin cobertura se programaron como subsuperficies de lámina simple.

6.5.4.1. Marzo

Se puede notar que la curva de la temperatura interior ya no se separa tanto de la TBS exterior durante el día, mitigándose los picos de sobrecalentamiento. La curva se desarrolla en una frecuencia más corta y se nota la reducción de la pérdida de calor en la noche. La oscilación de temperaturas se reduce considerablemente (Gráfica 6.16.A). El 16% de los días presenta discomfort por sobrecalentamiento del espacio en el día y el 82% de los días se presenta bajocalentamiento nocturno, al salir las temperaturas de la zona de confort situada entre los 20.9°C y los 25.9°C, para este mes.

La cubierta es el elemento que más aporta calentamiento diurno, sin embargo también la ganancia solar directa por ventanas participan del calentamiento interior del espacio. La mayor ganancia por elemento constructivo que llega a tener la cubierta es el 27 de mes, cuando admite 2kW (Gráfica 6.16.B).

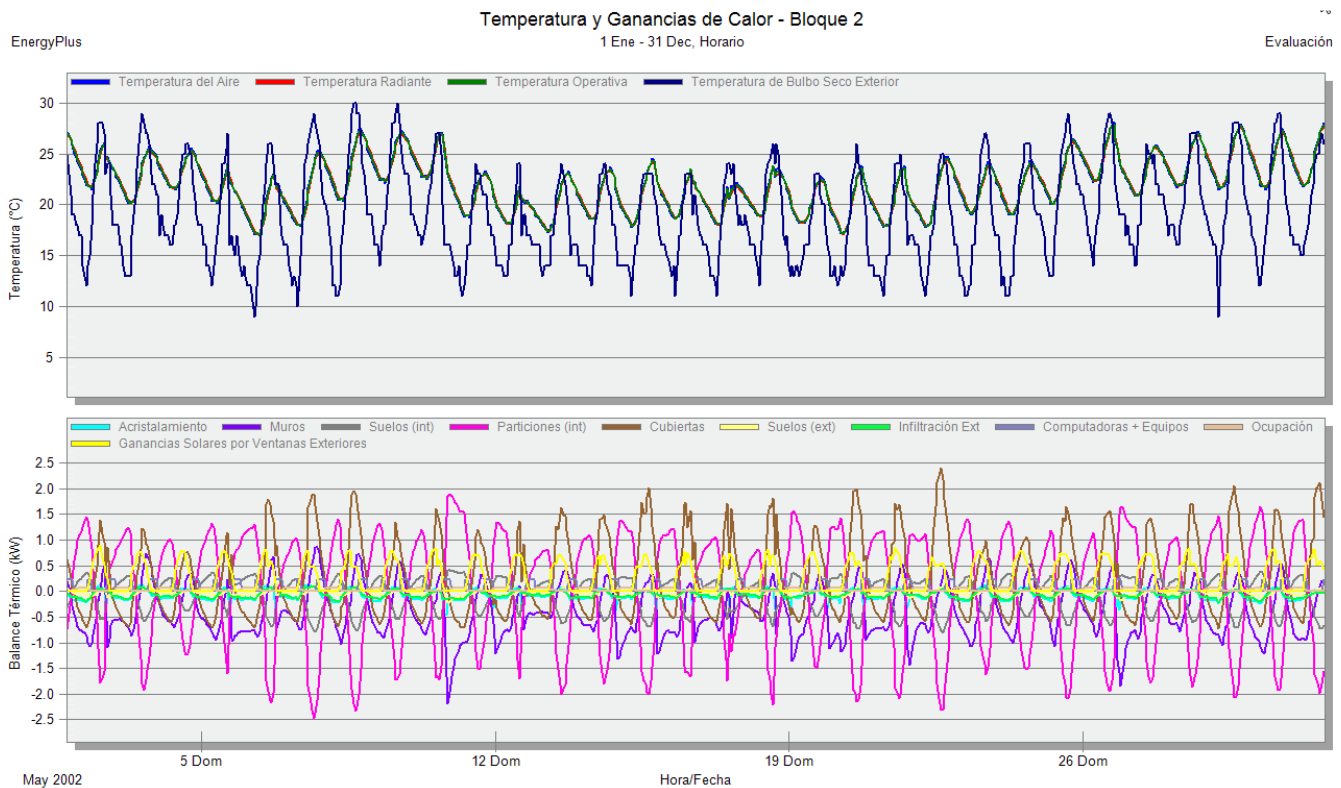


Gráficas 6.16. A. Temperaturas al interior del espacio y B. Temperaturas por elemento arquitectónico. Marzo.

6.5.4.2. Mayo

En mayo, el principal efecto que notamos de la vegetación sobre la lámina, es la reducción del calentamiento diurno por bloqueo de la incidencia de radiación; en segundo término se reduce la oscilación diaria de la temperatura. Igualmente se destaca el efecto de reducción de pérdida de calor nocturno, si bien en poca magnitud, es un efecto positivo, que se detallará con cifras en el análisis presentado más adelante en tablas de Excel (Gráfica 6.17.A). El 24% de los días presenta discomfort por sobrecalentamiento del espacio en el día y el 62% de los días se presenta bajocalentamiento nocturno, al salir las temperaturas de la zona de confort situada entre los 21.4°C y los 26.4 °C, para este mes.

Después de la cubierta, los elementos que más ganan calor son los muros al exterior norte y sur, que el programa identifica como particiones al quedar intermedios entre los bloques constructivos y la casa (Gráfica 6.17.B).

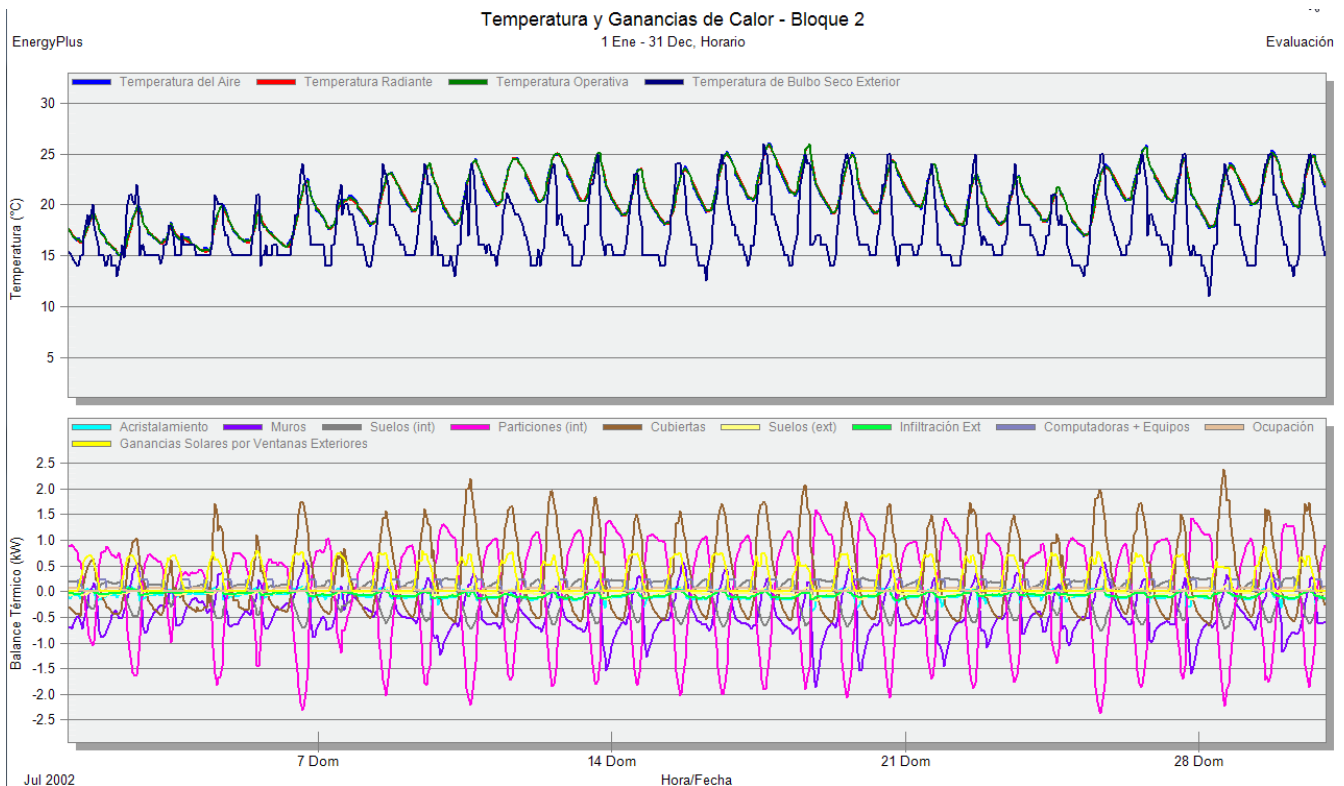


Gráficas 6.17. A. Temperaturas al interior del espacio y B. Temperaturas por elemento arquitectónico. Mayo.

6.5.4.3. Julio

En este caso se analizó el mes de julio, en vez de junio, para observar el efecto de la cubierta en incidencia de lluvia. Resulta interesante observar que con presencia de mayor humedad, mayor efecto convectivo del viento y lluvia, la TBS ext y la T int con cubierta de lámina naturada se desarrollan casi paralelas durante el día. Durante la noche, el desarrollo de la T interior se da muy cercana a la zona de confort (Gráfica 6.18.A). El 0% de los días presenta desconfort por sobrecalentamiento del espacio en el día y el 73% de los días se presenta bajocalentamiento nocturno, al salir las temperaturas de la zona de confort situada entre los 21.1°C y los 26.1°C, para este mes.

La ganancia mayor de calor es por la cubierta, y las pérdidas por calor emitido al exterior es menor para la cubierta que para los muros exteriores. Debemos recordar que el muro sur en este caso es de lámina con 3 capas de cubierta vegetal (una capa menos de Pitahaya que la cubierta); los muros al norte, oriente y poniente de la casa son de concreto denso según valores térmicos de ASHRAE²⁵ (Fuentes, 2010). Los muros colindantes de los bloques constructivos que flanquean la casa al oriente y poniente son de un arreglo de tabique, poliestireno expandido y panel de yeso, que el sistema de análisis de Energy Plus considera como adiabático (Gráfica 6.18.B).



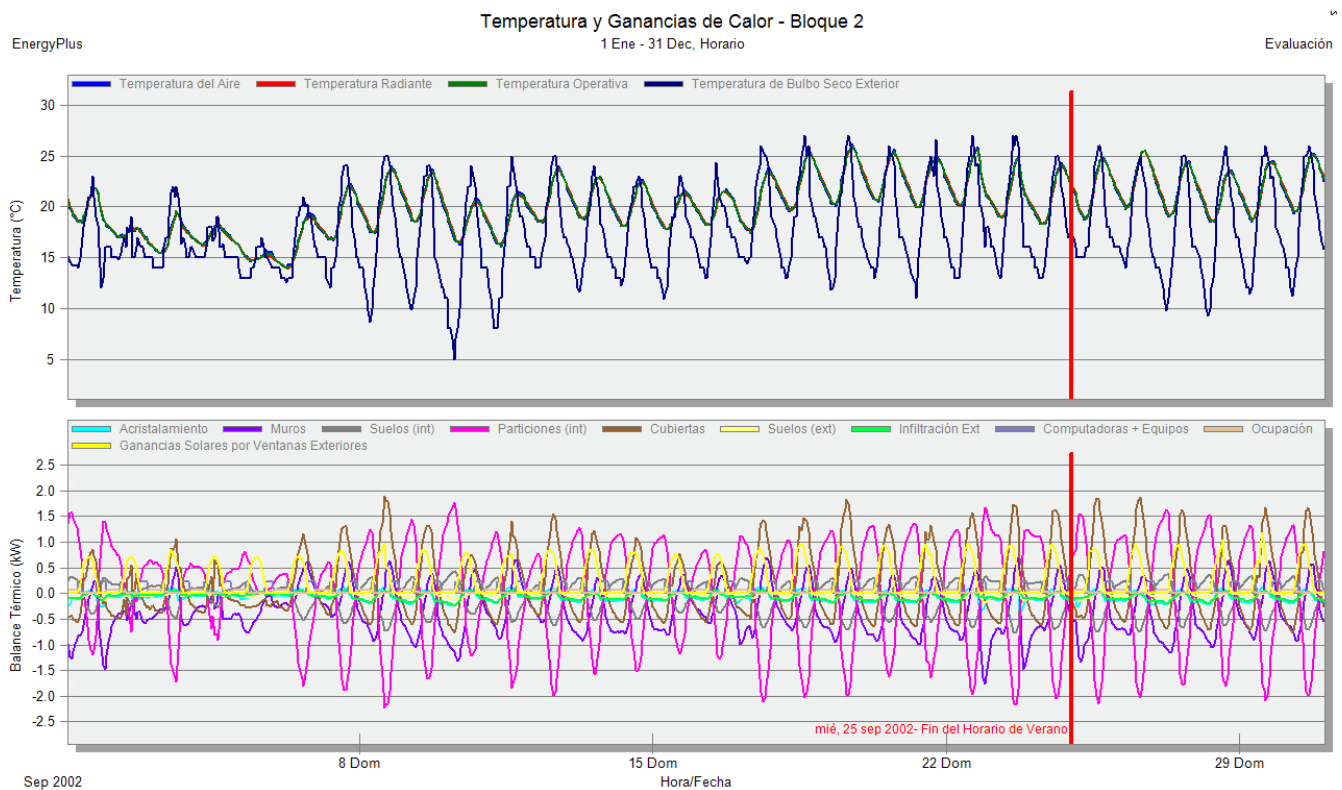
Gráficas 6.18. A. Temperaturas al interior del espacio y B. Temperaturas por elemento arquitectónico. Julio.

²⁵ Sociedad Norteamericana de Ingenieros en Calentamiento, Refrigeración y Aire Acondicionado, por sus siglas en inglés.

6.5.4.4. Septiembre

La oscilación de temperatura diaria se acorta considerablemente en la T interior. Se puede apreciar que a principio del mes las temperaturas interior y la exterior se igualan y tienen cruzamientos por la presencia de lluvia (Gráfica 6.19.A). La máxima oscilación llega a ser de 7°C, cuando en la de concreto simple alcanzó 10°C. El 0% de los días presenta discomfort por sobrecalentamiento del espacio en el día y el 83% de los días se presenta bajocalentamiento nocturno, al salir las temperaturas de la zona de confort situada entre los 20.8°C y los 25.8°C, para este mes.

La mayor ganancia de calor en el día se da por medio de la cubierta. La mayor cantidad de calor cedido al exterior es por medio de los muros (Gráfica 6.19.B).

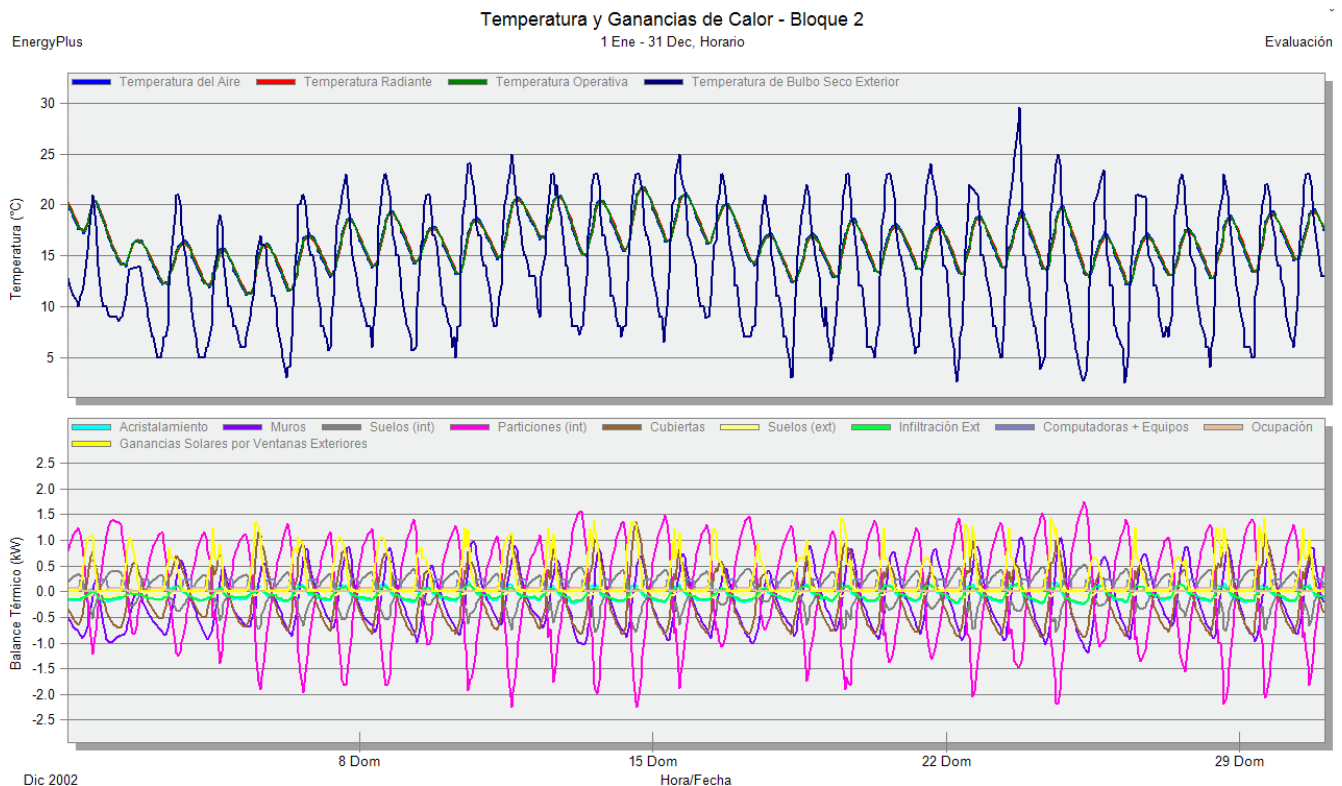


Gráficas 6.19. A. Temperaturas al interior del espacio y B. Temperaturas por elemento arquitectónico. Septiembre.

6.5.4.5. Diciembre

El efecto más notable en este mes, es el de reducción de la pérdida nocturna de calor respecto a la TBS exterior. A la envolvente verde corresponde una mejoría de la temperatura nocturna de entre 1 y 3°C en diferentes periodos de la noche. Veremos más adelante que la misma ocupación de la casa y los demás sistemas constructivos son los que aportan el mayor efecto de conservación de calor nocturno (Gráfica 6.20.A). El 0% de los días presenta discomfort por sobrecalentamiento del espacio en el día y el 100% de los días se presenta bajocalentamiento nocturno, al salir las temperaturas de la zona de confort situada entre los 19.8°C y los 24.8°C, para este mes.

Para este periodo, la ganancia solar directa a través de las ventanas rebasa en magnitud la ganancia de calor por la cubierta (Gráfica 6.20.B).

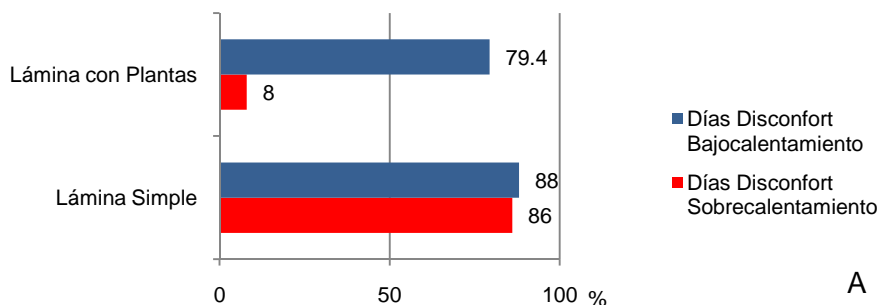


Gráficas 6.20. A. Temperaturas al interior del espacio y B. Temperaturas por elemento arquitectónico. Diciembre.

Comparando los resultados que arroja el modelo de lámina naturada, contra la Lámina Simple, se observa que el primero reduce en 78% los días que entraron en discomfort comparado con el de lámina simple. En esta medida gruesa se aprecia la contribución de la vegetación a reducir los picos de sobrecalentamiento. Asimismo, en todos los meses simulados, el modelo de lámina naturada presentó 8.6% menos días que entran en discomfort por bajocalentamiento respecto a la lámina simple. Si bien la aportación del sistema a la

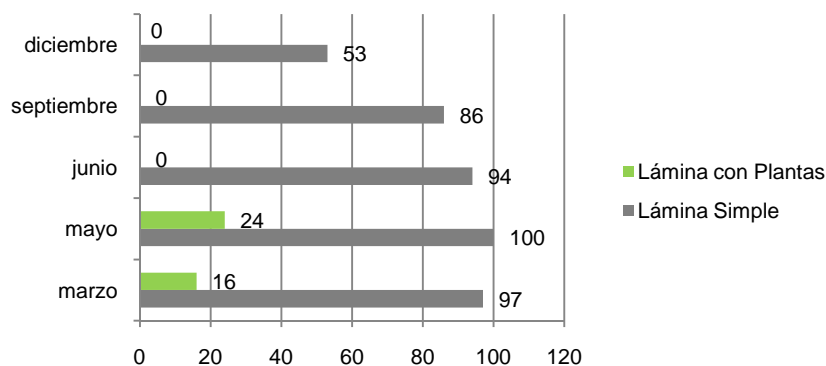
conservación de calor en la noche es modesta, el efecto es positivo (Gráficas 6.20.1.A, B y C).

Porcentaje promedio de todas las simulaciones de concreto



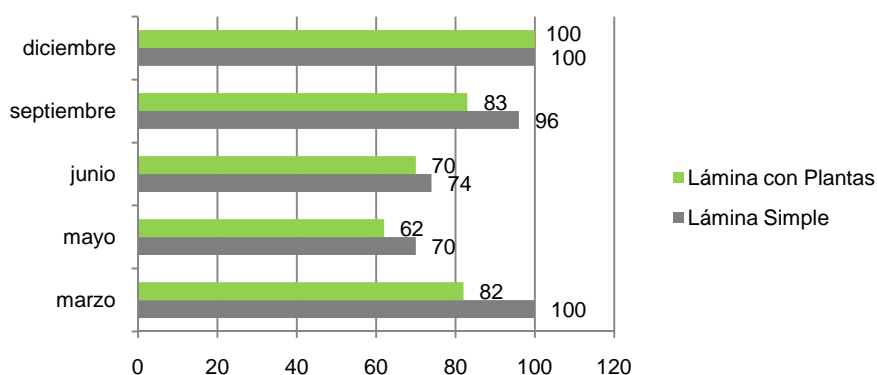
A

Porcentaje mensual de días con sobrecalentamiento



B

Porcentaje mensual de días con bajocalentamiento



C

Gráficas 6.20.1.A Porcentaje promedio de todas las simulaciones, de los días que entran en disconfort, comparativo entre los modelos de Concreto Simple y Concreto Naturado. Se aprecia el mejoramiento térmico que aporta la vegetación, sobre todo en evitar sobrecalentamiento diurno; B. Porcentaje mensual de días con sobrecalentamiento. El mejoramiento de la cubierta es más notable en septiembre; C. Porcentaje mensual de días con bajocalentamiento nocturno. Es menor el mejoramiento térmico para conservar calor con vegetación.

6.6. Desempeño térmico comparado

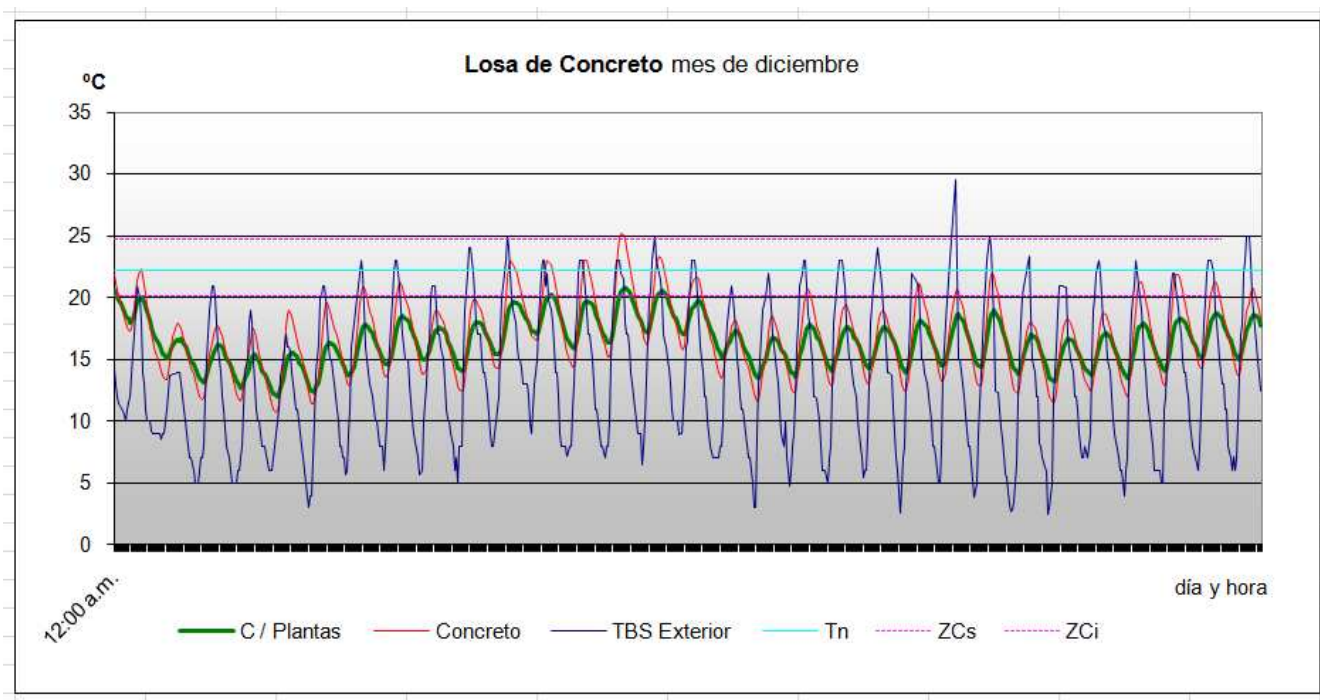
6.6.1. Concreto Simple Vs Concreto Naturado

Las corridas térmicas realizadas en Design Builder se exportaron como valores separados por comas (extensión .csv) para su análisis en hoja de cálculo de Excel.

Se presentan las gráficas comparativas entre los resultados obtenidos en las simulaciones térmicas en diciembre (un mes frío) y mayo (mes cálido). Igualmente se presenta una corrida numérica de los diferenciales de temperatura entre los dos sistemas constructivos, en un día de desempeño. Igualmente se presenta el desempeño mensual comparativo: finalmente se presentará una tabla donde se vacía el desempeño mensual en mes cálido y mes frío de todos los sistemas de cubierta y muros sur evaluados: 1. Concreto simple; 2. Concreto con plantas; 3. Lámina simple; y 4. Lámina con vegetación.

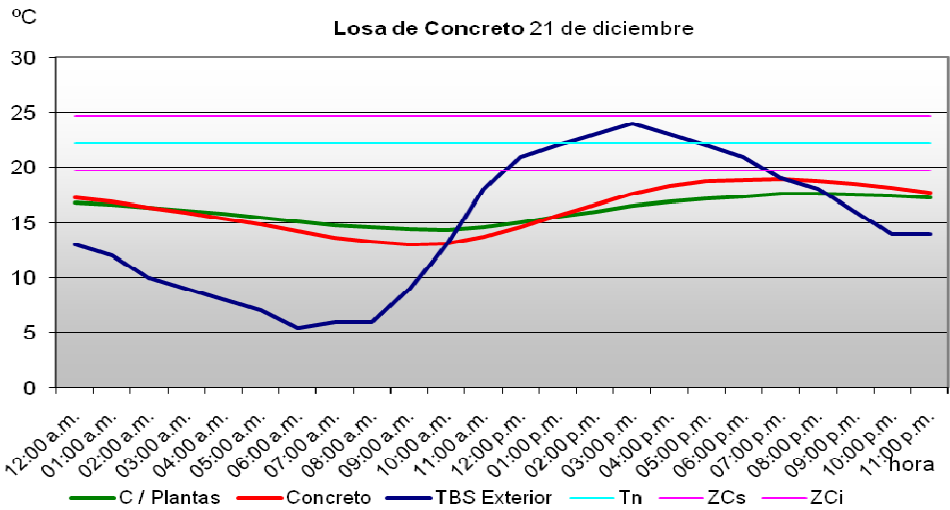
Diciembre, mes frío

Durante el mes de diciembre la losa de concreto con plantas (CP) reduce la oscilación en promedio a 8°C mensuales y hasta en 14°C en un día (Gráfica 6.21). La aplicación del sistema de naturación en diciembre es una herramienta adecuada, ya que aun cuando en el día evita ganancias deseables de calor al interior, reduce las pérdidas durante la noche, lo que resulta un efecto más importante, ya que dada la declinación solar en diciembre, de 53° sur, se puede ganar calor solar mediante la promoción de ganancias de radiación directa por ventanas en la fachada sur.



Gráfica 6.21. Desempeño mensual comparativo en diciembre

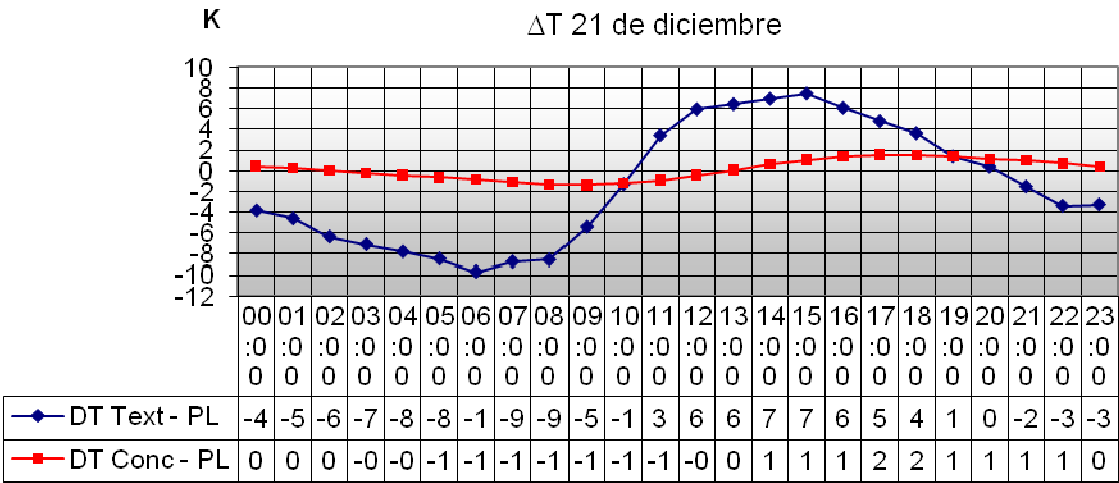
En el solsticio de invierno, la T int Con la CP se mantiene más caliente durante la noche que la T int que promueve la CS. La CP disminuye la oscilación de la T ext hasta en 18°C, sin embargo el desarrollo de la curva de la CP se mantiene siempre debajo de la ZCi (Gráfica 6.22).



Gráfica 6.22. Desempeño de un día representativo

Diferenciales de temperatura

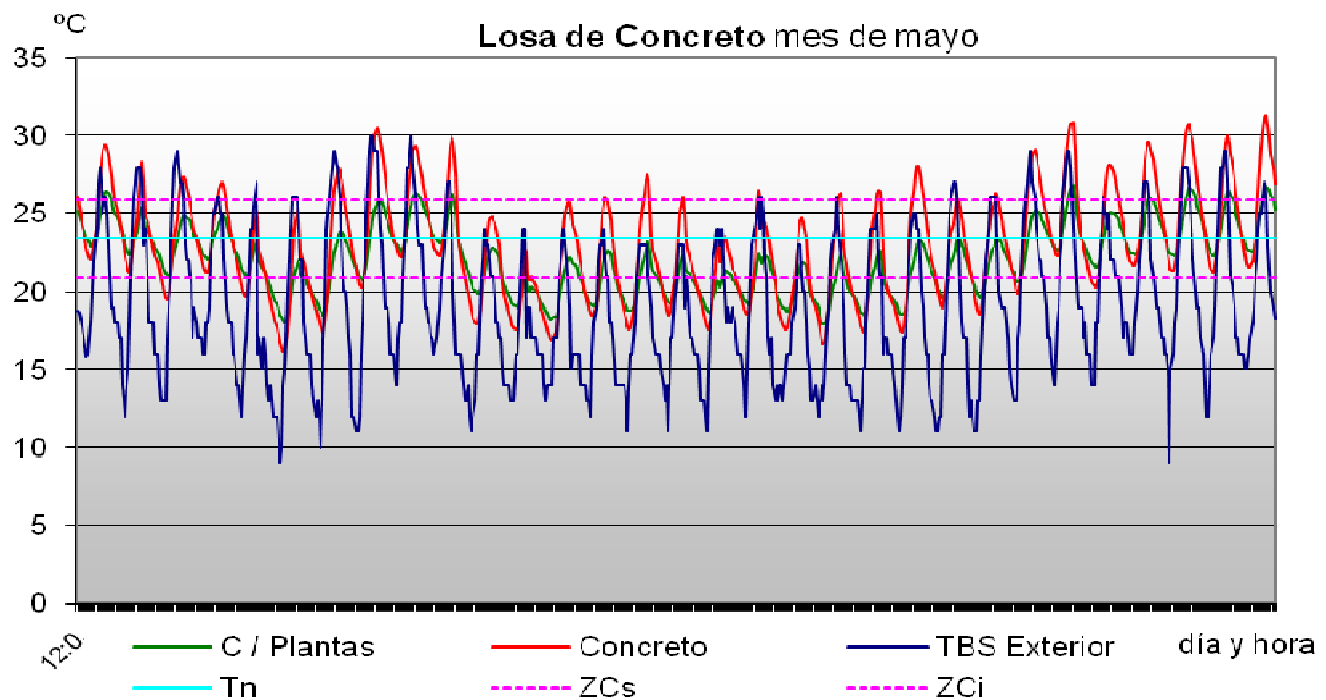
Para el 21 de diciembre, de las 5:00 hrs a las 11:00 hrs, la T int con CP se mantuvo 1°C más caliente que con la CS. A mediodía CP y CS se igualaron durante dos horas y durante la tarde CS promovió más calor al interior que CP (Gráfica 6.23).



Gráfica 6.23. Diferenciales de temperatura ΔT entre Temperatura exterior – Losa de concreto con plantas; y Losa de concreto simple – Losa de concreto con plantas. Para el 21 de diciembre.

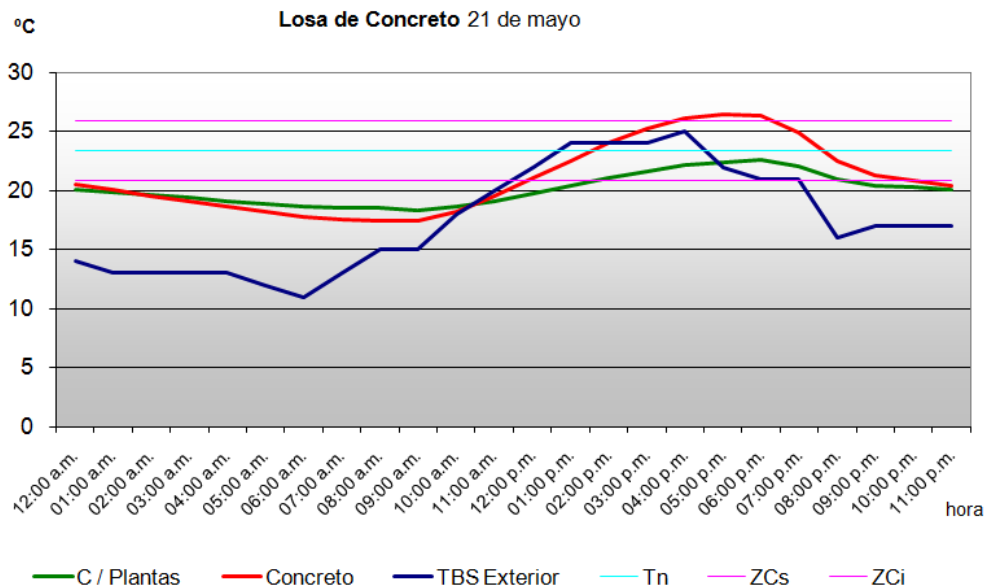
Mayo, mes más cálido.

Durante el mes de mayo la CP estabiliza las temperaturas diurnas y nocturnas, teniendo sobre todo una reducción muy significativa de los picos de sobrecalentamiento, tanto de la T ext como de la CS. Manteniendo así la T int dentro de la zona de confort la mayor parte del mes, y cerca de ésta durante la noche (Gráfica 6.24).



Gráfica 6.24. Desempeño mensual comparativo en mayo. Se aprecia la reducción de oscilación térmica que aporta la planta al edificio.

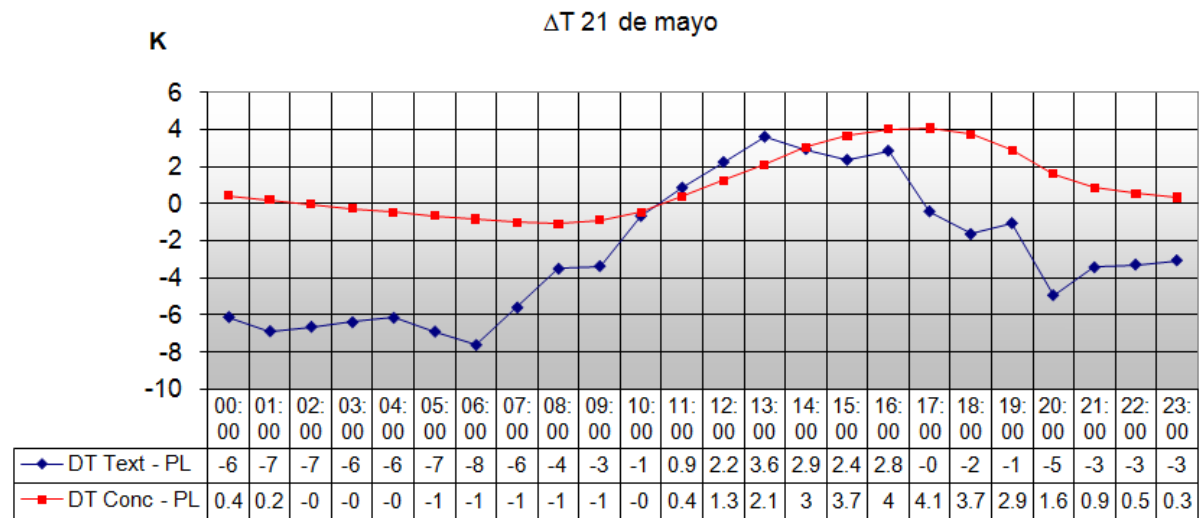
Para el mes más cálido la T ext presenta cambios repentinos que son suavizados por la CP con mayor efectividad que con la CS, manteniendo también su desarrollo más cercano a la zona de confort noche (Gráfica 6.25).



Gráfica 6.25. Desempeño de un día representativo

Diferenciales de temperatura

Para el 21 de mayo, de las 5:00 hrs a las 9:00 hrs, la T int con CP se mantuvo 1°C más caliente que con la CS. De las 14:00 hrs a las 19:00 hrs la CP aporta una T int de entre 3 y 4°C menor que la que promueve la CS, lo que resulta favorable en esta época (Gráfica 6.26).



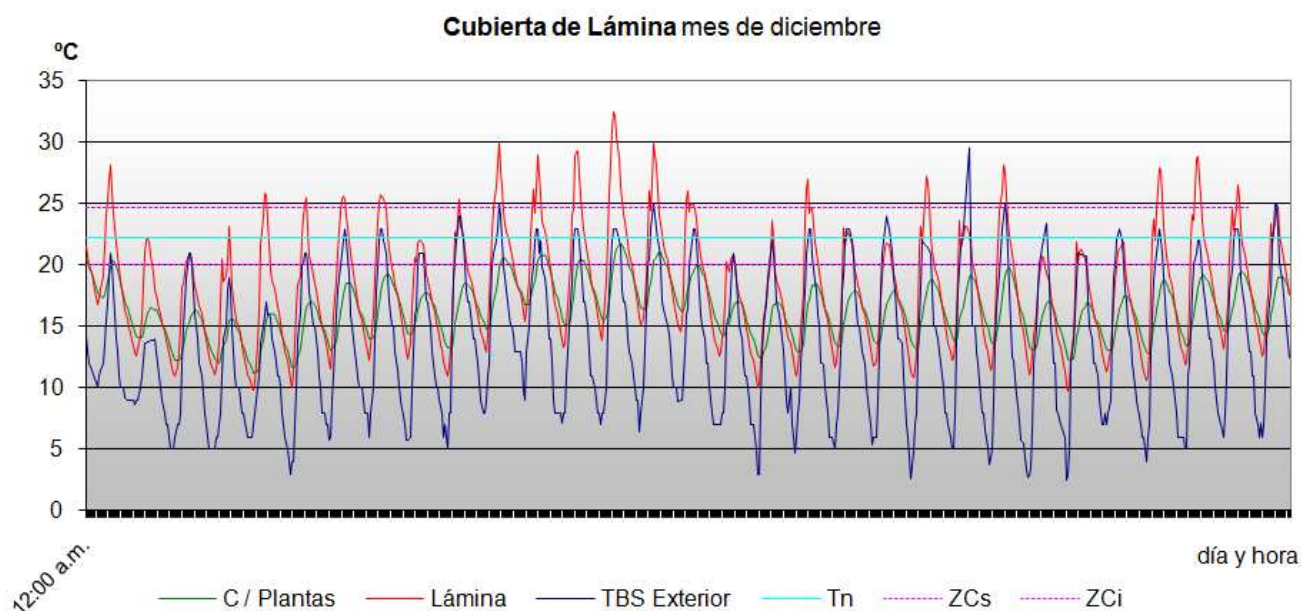
Gráfica 6.26. Diferenciales de temperatura ΔT entre Temperatura exterior – Losa de concreto con plantas; y Losa de concreto simple – Losa de concreto con plantas. Para el 21 de diciembre.

6.6.2. Lámina Simple Vs Lámina Naturada

Se presentan los resultados comparativos entre los resultados obtenidos en las simulaciones térmicas en diciembre y mayo para estos sistemas constructivos.

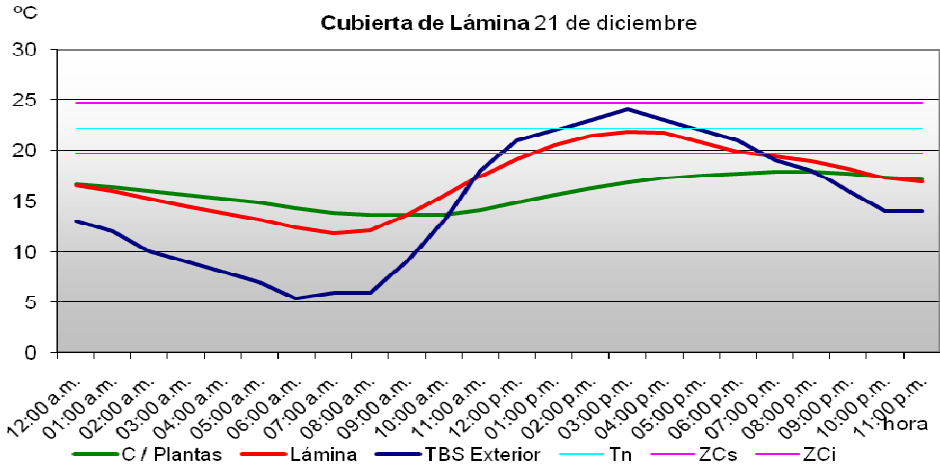
Diciembre

Durante todo el mes la cubierta de lámina con plantas (LP) promueve temperaturas interiores por debajo de la ZCi en el día. Durante la noche se mantiene igualmente de bajo de esta zona, aun cuando mantiene temperaturas interiores entre 1 2 °C mayores que con la cubierta de lámina simple (LS) (Gráfica 6.27). La aplicación de la vegetación es positiva porque, aunque reduce las ganancias de calor deseables durante el día, evita la perdida de calor en la noche con mayor efecto que en el caso de concreto. Acerca más las temperaturas a la zona de confort. Las ganancias de calor en este mes se pueden dar de manera directa, complementando con otras estrategias bioclimáticas el proyecto.



Gráfica 6.27. Desempeño mensual comparativo en diciembre

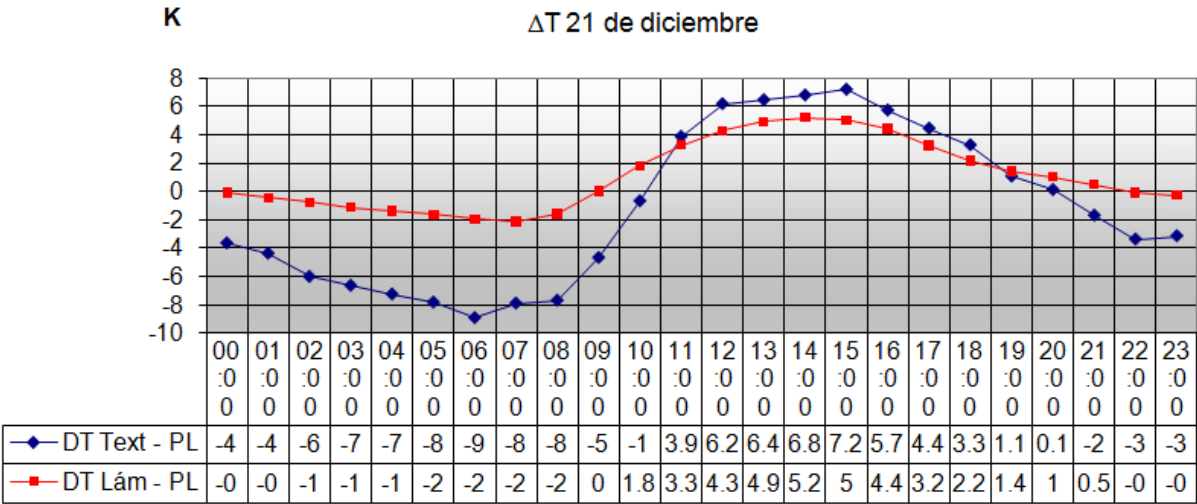
El 21 de mes, el sobrecalentamiento diurno que promueve la LS alcanza a llevar a la T int dentro de la zona de confort de las 13:00 hrs a las 18:00 hrs, mientras que en este mismo periodo la T int con LP se mantiene debajo de la ZCi. Por esto, aunado a la implementación de este sistema se deben incluir otras estrategias pasivas como la ganancia solar directa a través de ventanas sur, que como vimos en las gráficas de Design Builder para este mes, son los elementos constructivos que más pueden aportar calor al interior (Gráfica 6.28).



Gráfica 6.28. Desempeño de un día representativo

Diferenciales de temperatura

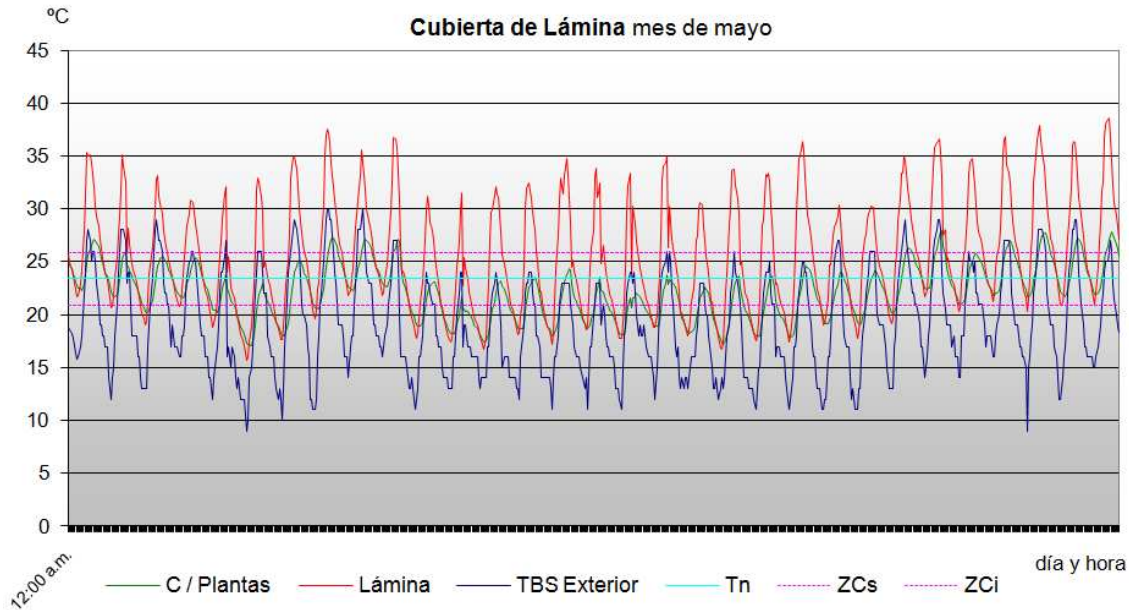
De las 2:00 hrs a las 4:00 hrs, la LS es más fría en 1°C que la LP. De 5:00 hrs a 8:00 hrs esta diferencia aumenta a 2°C. Esto aporta mejores condiciones más favorables al confort humano, así como ahorros energéticos y reducción de emisiones de GEI al hacer el conteo mensual y anual de estos pequeños efectos de mejoramiento del desempeño térmico (Gráfica 6.29).



Gráfica 6.29. Diferenciales de temperatura ΔT entre Temperatura exterior – Losa de lámina con plantas; y Losa de lámina simple – Losa de lámina con plantas. Para el 21 de diciembre.

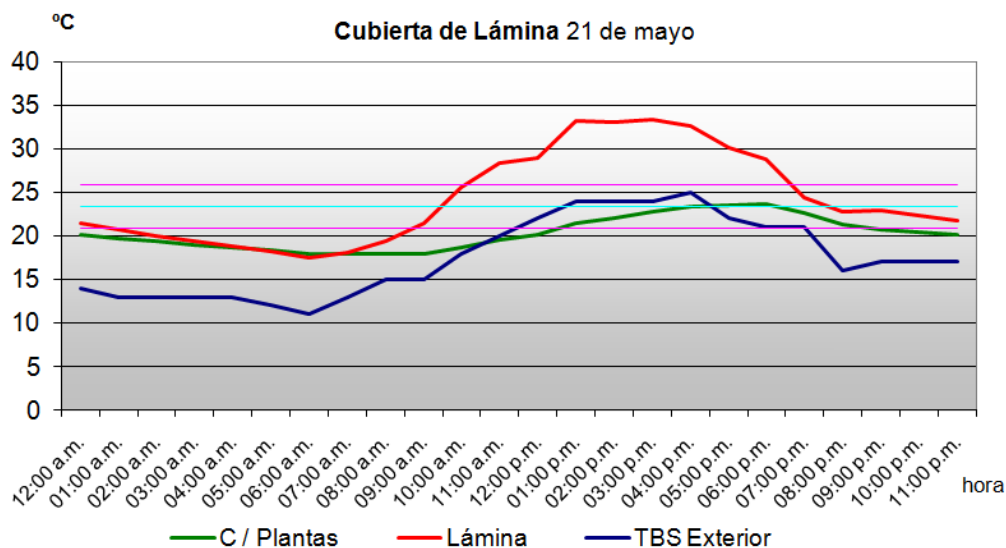
Mayo, mes más cálido

La lámina simple promueve temperaturas interiores de 37°C para el día 8 de mes, que es el más cálido, mismo en el que la LP promueve una T_{int} de 27°C. Con la implementación de la LP, el desarrollo geernal de las T_{int} se da dentro de la zona de confort durante el día y muy cecano a ésta durante la noche (Gráfica 6.30).



Gráfica 6.30. Desempeño mensual comparativo. Mayo.

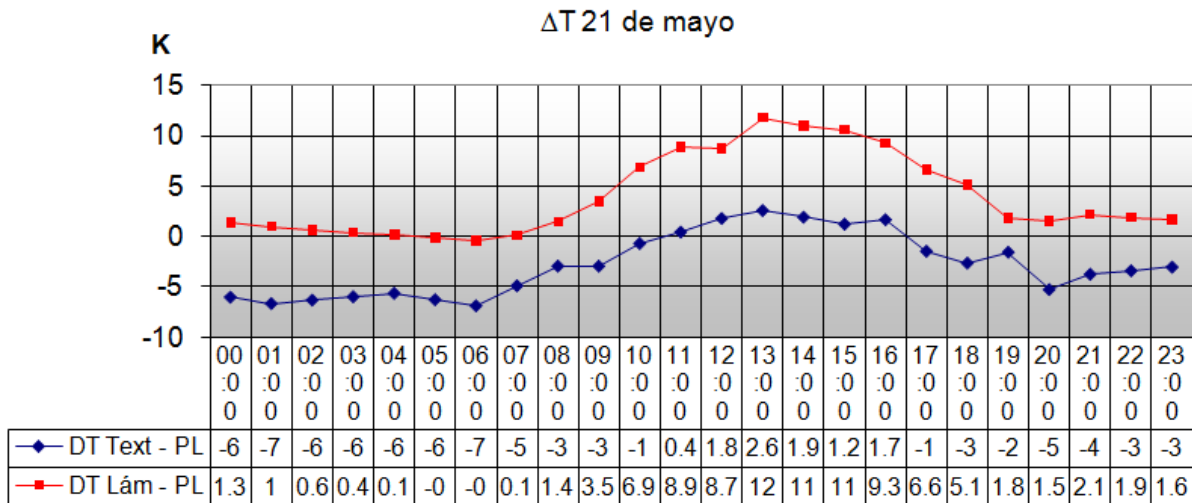
La LS sale de confort de las 10:00 hrs a las 19:00 hrs, alcanzando temperaturas interiores de 33.5°C, mismo lapso en que la LP hace entrar a zona de confort las T_{int} del edificio (Gráfica 6.31).



Gráfica 6.31. Desempeño de un día representativo

Diferenciales de temperatura

El mayoer ΔT entre LS y LP se presenta a las 13:00 hrs con 11.8 K (Gráfica 6.32).

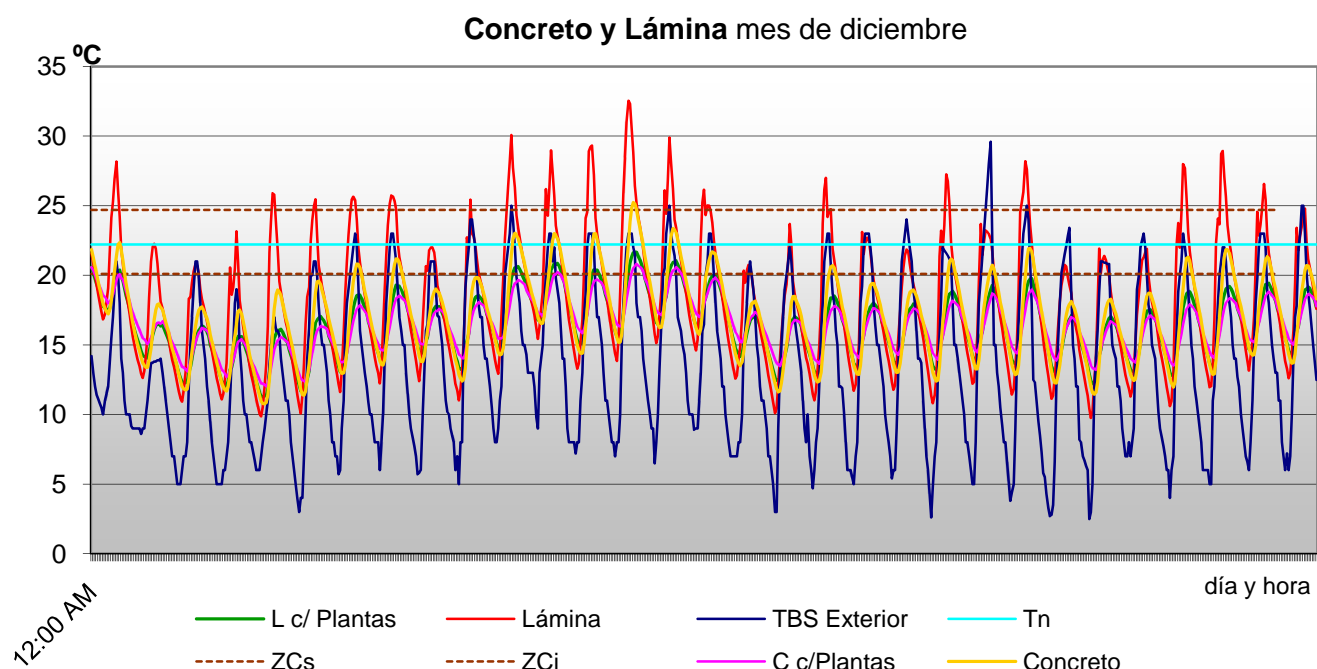


Gráfica 6.32. Diferenciales de temperatura ΔT entre Temperatura exterior – Losa de lámina con plantas; y Losa de lámina simple – Losa de lámina con plantas. Para el 21 de mayo.

6.6.3. Comparativo todos los modelos

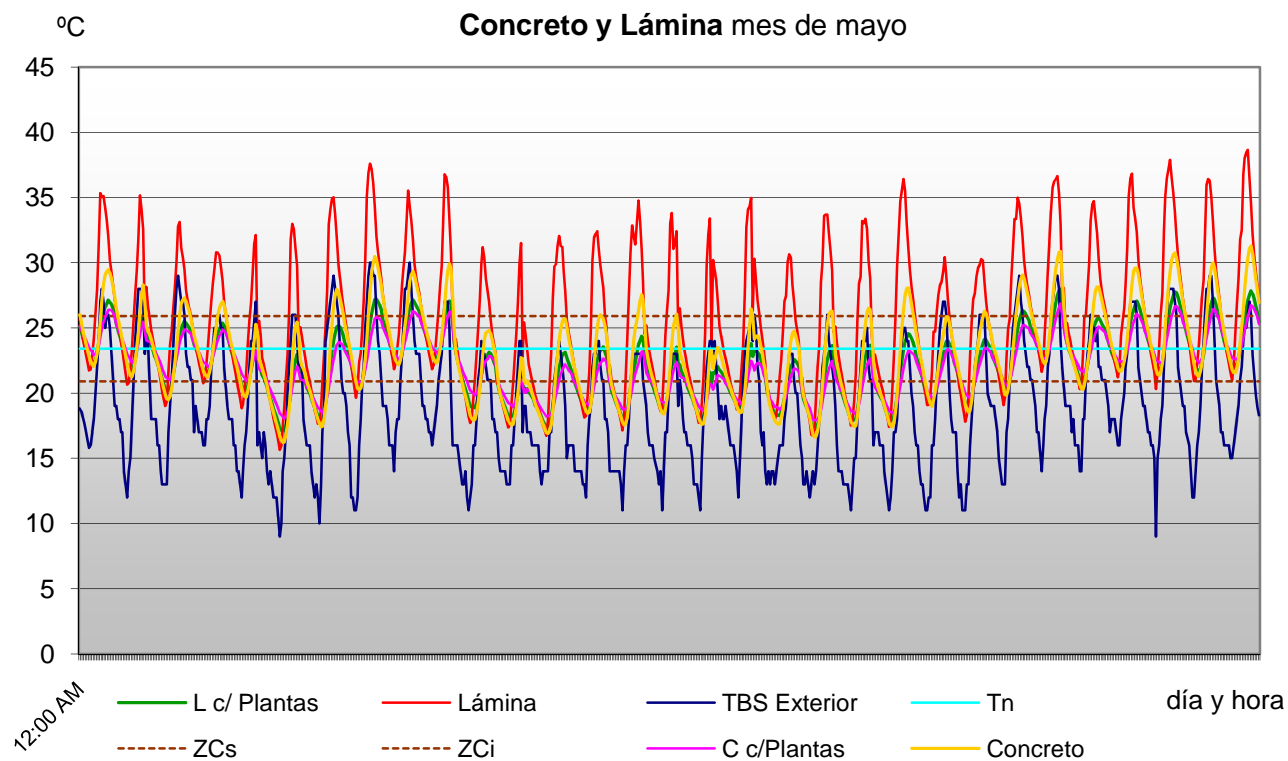
Con la finalidad de observar simultáneamente el comportamiento térmico de todos los arreglos constructivos evaluados en el edificio durante las simulaciones térmicas en Design Builder, se vertieron los resultados en una gráfica. De esta manera se puede observar que el material que tiene el mejor comportamiento térmico es el Concreto Naturado. Le sigue en eficiencia el modelo de Lámina Naturada, que mejoró en desempeño incluso que el Concreto Simple. El peor desempeño térmico de todos los materiales es el de la Lámina Simple. Los efectos de mejoría en el desempeño térmico se aprecian en la reducción de las oscilaciones diarias y promedios mensuales, como en el acercamiento de las temperaturas interiores diurnas y nocturnas a la zona de confort, tanto para el mes de diciembre como para mayo. (Gráficas 6.33 y 6.34).

Diciembre



Gráfica 6.33. Desempeño mensual comparativo de todos los sistemas. Diciembre.

Mayo



Gráfica 6.34. Desempeño mensual comparativo de todos los sistemas. Mayo.

6.7. Impactos energéticos de los modelos evaluados

Los análisis del comportamiento térmico del edificio mostraron que no es suficiente la incorporación del Sistema de Naturación Aligerado para obtener condiciones confort en un espacio con losa de concreto, ni con cubierta de lámina. Se analizarán a continuación los impactos en consumo energético que implicaría hacer entrar en zona de confort los cuatro modelos, utilizando sistemas de enfriamiento en base a electricidad, y calentamiento en base a gas. De este análisis obtendremos la cuantificación de los ahorros energéticos y en emisiones de CO₂ por consumo de energéticos que puede aportar la incorporación del Sistema de Naturación Aligerado a estos casos específicos de evaluación.

Esta evaluación se desarrolló aplicando a los modelos una plantilla HVAC²⁶ prediseñada de equipo de enfriamiento y calentamiento mecánico llamada Split + separate mechanical ventilation (Tablas 6.9.A, B y C).

Tabla 6.9. Valores de trabajo de los equipos mecánicos de enfriamiento y calentamiento del espacio. A. Datos generales; B. Especificaciones de trabajo del sistema HVAC; C. Programación del sistema de enfriamiento y calentamiento

Plantillas de HVAC Datos			
General	Ventilación	Calefacción y refrigeración	Distribución de la temperatura del aire
General			
Nombre	Split + separate mechanical ventilation		
Descripción			
Fuente	BRE		
Categoría	Genérico		
Región	General		
Simple			
Energía auxiliar (kWh/m2)	23.94		
Compacto			
Tipo	1-Unitario zona única		
Coloración del Suelo en el Modelo			

A

²⁶ Calefacción, ventilación y aire acondicionado por sus siglas en inglés.

Editar plantilla de HVAC - Split + separate mechanical ventilation

Plantillas de HVAC Datos

General Ventilación **Calefacción y refrigeración** Distribución de la temperatura del aire

Calefacción

☒ Activar

Combustible 2-Gas

Precalentamiento (hr) 1.0

Simple

CoP del sistema de calefacción 2.25

Tipo de sistema de calefacción 1-Convectivo

Condiciones de Suministro de Aire

Temperatura del aire suministrado (°C) 35.00

Tasa de humedad del aire suministrado (g/g) 0.010

Compacto

CoP de generación de calor 4.45

Pérdidas por distribución de calentamiento (%) 5.00

Refrigeración

☒ Activar

Preenfriamiento (hr) 0.0

Simple

CoP del sistema de refrigeración 1.68

Condiciones de Suministro de Aire

Temperatura del aire suministrado (°C) 12.00

Tasa de humedad del aire suministrado (g/g) 0.008

Compacto

CoP de la enfriadora 1.68

Pérdidas por distribución de enfriamiento (%) 5.00

B

General **Ventilación** Calefacción y refrigeración Distribución de la temperatura del aire

☐ Modo mixto activado

Ventilación Mecánica

☒ Activar

Tasa (ca/h) 3.0

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16

Ventiladores:

Control de ciclo nocturno 1-Permanece apagado

Ubicación (funcionamiento) del ventilador 1-Después de serpentines (succ

Coefficientes de potencia de carga parcial 1-Inlet vane dampers

Tipo de ventilador 1-Admisión

Modo de operación del ventilador 1-Continuo

Aumento de presión (Pa) 400.0

Eficiencia total (%) 70.0

Ventilador en aire (%) 100.0

Economizador (enfriamiento gratuito)

Tipo de economizador 1-Ninguno

Cierre del economizador 1-No cerrado

Temperatura límite superior del economizador (°C) 25.0

Temperatura límite inferior del economizador (°C) 11.0

Entalpía límite superior del economizador (J/kg) 50000.0

Recuperación de calor

☐ Activar

C

MODELO DE VIVIENDA CON CONCRETO

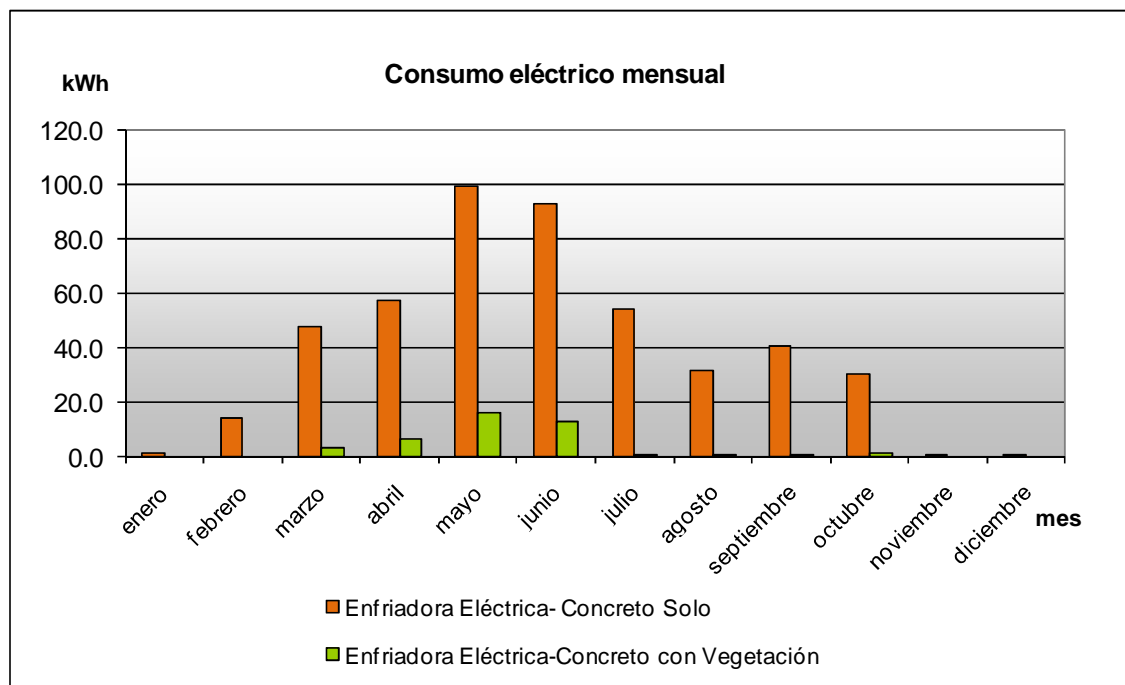
6.7.1. Demanda energética de los modelos de Concreto. Simple vs Naturado

6.7.1.1. Electricidad para enfriamiento (Tabla 6.10).

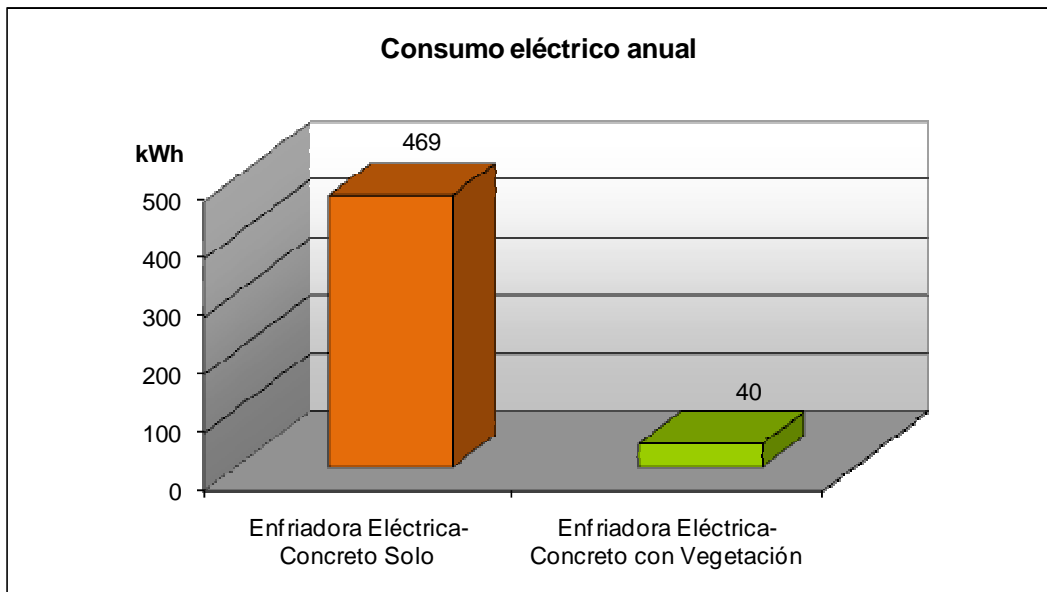
Mes	Concreto Simple	Concreto Naturado
	Consumo Eléctrico kWh	Consumo Eléctrico kWh
enero	1.3	0.0
febrero	14.4	0.0
marzo	47.9	3.0
abril	57.1	6.3
mayo	98.9	15.9
junio	92.6	13.1
julio	53.8	0.1
agosto	31.4	0.0
septiembre	40.8	0.1
octubre	30.1	1.2
noviembre	0.5	0.0
diciembre	0.2	0.0

Tabla 6.10. Demanda Eléctrica mensual para enfriamiento
Cálculo generado en Energy Plus (DOE, 2009).

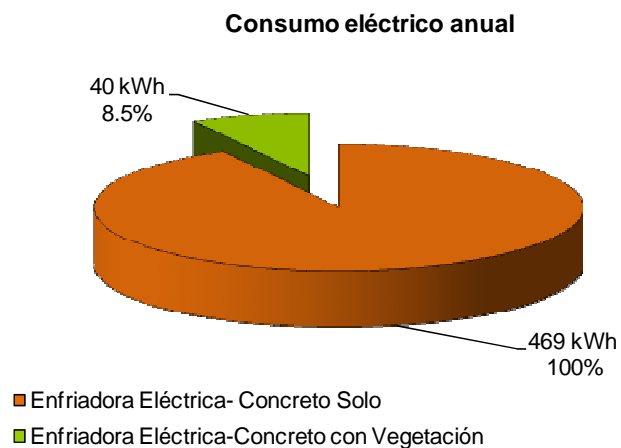
Gráficas de consumos comparados. Concreto Simple vs Naturado (Gráficas 6.35, 6.36 y 6.37)



Gráfica 6.35. Consumo eléctrico mensual comparado



Gráfica 6.36. Comparación anual en magnitud



Gráfica 6.37. Comparación porcentual

De acuerdo con este cálculo, el sistema de naturación propuesto estará aportando un **ahorro del 91.5%** en consumo de energía eléctrica por concepto de enfriamiento eléctrico con equipo mecánico split.

6.7.1.1.1. Gasto y ahorro por enfriamiento

En total, en un año simulado la cubierta de concreto simple requirió de 469 kWh, mientras que la de concreto naturado de 40 kWh, arrojando una diferencia o ahorro de 429 kWh.

De acuerdo a la precio neto vigente de la CFE de \$0.711 por kWh para consumo doméstico, se obtiene un ahorro de \$300.00 pesos (Tabla 6.11). Ésto significa un ahorro del 92% en este concepto.

Tabla 6.11. Ahorro que aporta el sistema. Electricidad. Concreto Simple Vs Concreto naturado

Concepto	Gasto Anual kWh	Precio \$ m.n.	Total \$ m.n.
Concreto Simple	469	0.711	333.459
Concreto Naturado	40	0.711	28.44
Ahorro	429	0.711	305.019

*Tarifa de recibo doméstico CFE al 28 de febrero 2010.

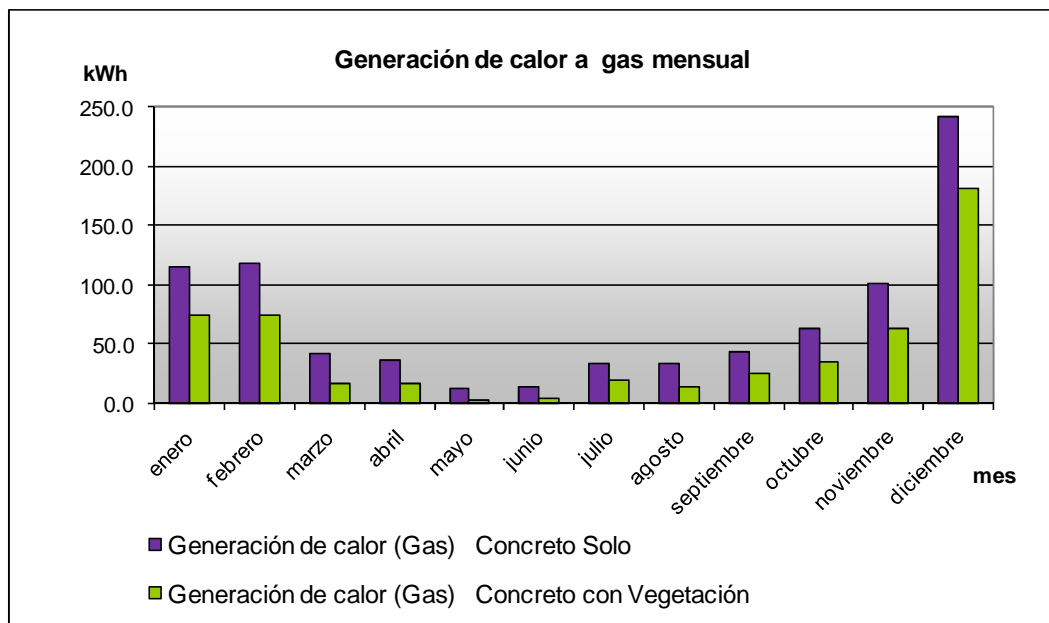
6.7.1.2. Gas para calentamiento

En lo referente al consumo de gas por calentamiento para hacer entrar en confort el edificio analizado, se obtuvieron los resultados de consumos (Tabla 6.12.)

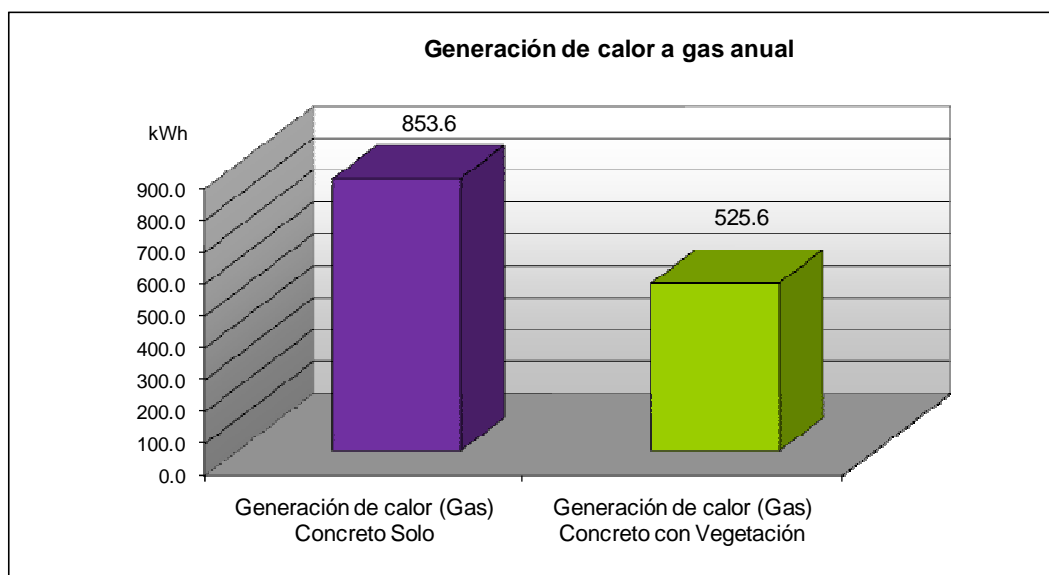
Mes	Concreto Simple	Concreto Naturado
	Generación de calor (Gas) kWh	Generación de calor (Gas) kWh
enero	115.5	73.6
febrero	118.0	74.6
marzo	42.3	16.7
abril	36.3	16.9
mayo	12.0	2.4
junio	13.5	4.3
julio	33.1	18.6
agosto	34.1	14.2
septiembre	43.0	25.2
octubre	63.4	35.3
noviembre	100.7	62.3
diciembre	241.8	181.3

Tabla 6.12. Generación de calor en base a gas por calentamiento del espacio.
Cálculo generado en Energy Plus (DOE, 2009).

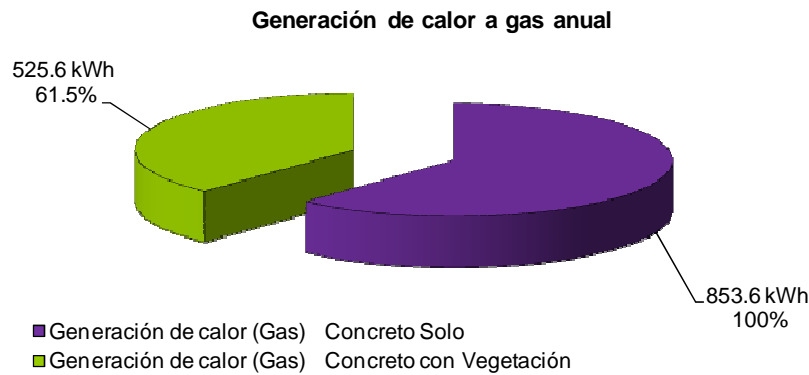
Gráficas de consumos comparados. Concreto Simple vs Naturado (Gráficas 6.38, 6.39 y 6.40)



Gráfica 6.38. Generación de calor en base a gas, mensual comparado



Gráfica 6.39. Generación de calor a gas, anual en magnitud



Gráfica 6.40. Generación de calor a gas, comparación porcentual

De acuerdo con estas cifras, implementando el sistema de naturación en la losa de concreto de 10 cm de espesor y en los muros al sur, se llega a tener un **ahorro del 38.5%** en generación de calor a en base a gas para calentamiento del espacio interior.

6.7.1.2.1. Gasto y ahorro por calentamiento

Debido a que Design Builder desglosa los gastos de gas en kWh caloríficos, y que el equipo de calentamiento mecánico de la simulación es un equipo teórico, tomamos un equipo de calefacción doméstica del mercado como base de cálculo de los gastos en gas llevando a cabo la conversión de kWh a BTU. El equipo es un Calentador marca CALELEC HEATING, Mod. CDGN(B)I(G), a gas butano, de 3 quemadores, capacidad de 75,000 BTU/h, consumo de 1.35Kg/h (CALELEC, 2011).

De acuerdo a los desgloses energéticos obtenidos en la simulación, el uso de calefacción a gas para llevar a confort la casa con Concreto Simple implica un gasto anual de 52.4 Kg de gas butano (LP), equivalente a \$529.00 m. n. al precio del mes de febrero de 2011 (Tabla 6.13). La casa de Concreto con Vegetación requiere un gasto de \$326.00 anuales por el mismo concepto, lo que arroja un ahorro de \$203.00 m. n. (Tabla 6.14). Equivalente al 38% de ahorro monetario anual por este concepto.

Tabla 6.13. Ahorro que aporta el sistema. Gasto en gas por calentamiento. **Concreto Simple**

	Generación de Calor (Gas)	Equivalencia en energía	Potencia equipo 75,000/h	CONSUMO DE GAS 1.35Kg@75,000 BTU /h	Costo gas * \$10.1/kg
Mes	kWh	BTU	BTU/h	kg/h	\$ m.n.
enero	115.5	394021.6	5.3	7.1	71.6
febrero	118.0	402586.5	5.4	7.2	73.2
marzo	42.3	144163.8	1.9	2.6	26.2
abril	36.3	123817.6	1.7	2.2	22.5
mayo	12.0	40784.9	0.5	0.7	7.4
junio	13.5	45946.0	0.6	0.8	8.4
julio	33.1	113081.2	1.5	2.0	20.6
agosto	34.1	116337.9	1.6	2.1	21.2
septiembre	43.0	146757.6	2.0	2.6	26.7
octubre	63.4	216335.6	2.9	3.9	39.3
noviembre	100.7	343616.8	4.6	6.2	62.5
diciembre	241.8	825153.4	11.0	14.9	150.0
ANUAL				52.4	529.5

* Precio del gas comenrcial al en marzo de 2011.

Tabla 6.14. Ahorro que aporta el sistema. Gasto en gas por calentamiento. **Concreto Naturado**

	Generación de Calor (Gas)	Equivalencia en energía	Potencia equipo 75,000/h	Consumo de Gas 1.35kg@75,000 BTU /h	Costo gas* \$10.1/kg
Mes	kWh	BTU	BTU/h	kg/h	\$ m.n.
enero	73.6	251233.1	3.3	4.5	45.7
febrero	74.6	254585.8	3.4	4.6	46.3
marzo	16.7	56881.5	0.8	1.0	10.3
abril	16.9	57730.5	0.8	1.0	10.5
mayo	2.4	8307.5	0.1	0.1	1.5
junio	4.3	14793.7	0.2	0.3	2.7
julio	18.6	63566.5	0.8	1.1	11.6
agosto	14.2	48550.3	0.6	0.9	8.8
septiembre	25.2	86009.4	1.1	1.5	15.6
octubre	35.3	120318.0	1.6	2.2	21.9
noviembre	62.3	212724.4	2.8	3.8	38.7
diciembre	181.3	618570.8	8.2	11.1	112.5
ANUAL				32.3	326.0

* Precio del gas comenrcial al en marzo de 2011.

De manera conjunta, el ahorro en electricidad más el obtenido en consumo de gas dan un ahorro anual de \$503.00 m.n. para el modelo de concreto.

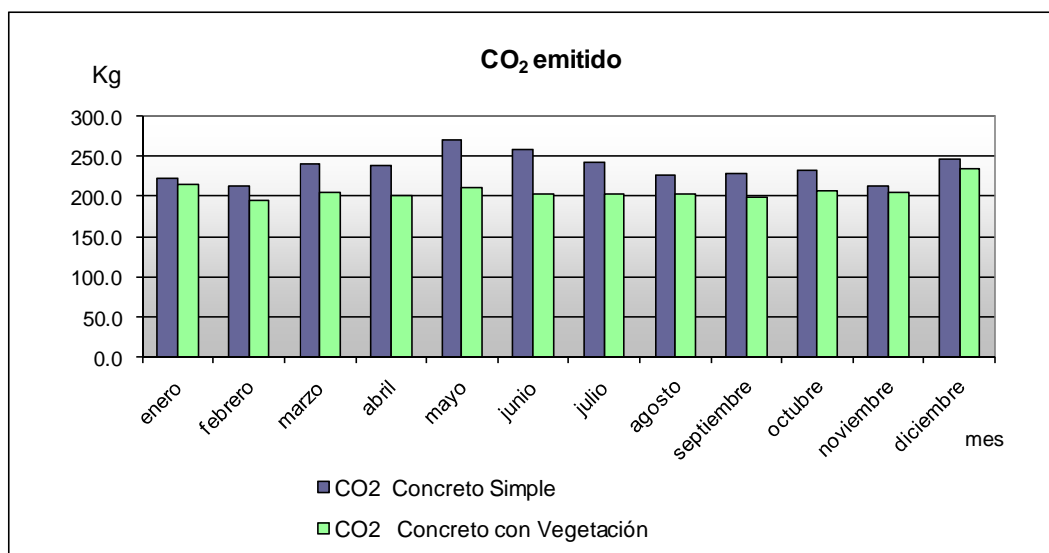
6.7.1.3. Emisión de CO₂ de los modelos de Concreto. Simple vs Naturado

El programa de cálculo térmico Energy Plus permite igualmente estimar el CO₂ que emite nuestra edificación en base a los consumos de energía eléctrica y la combustión directa para calentamiento con gas (Tabla 6.15). Se analizan ahora comparativamente las envolventes de concreto simple y con vegetación (Gráficas 6.41, 6.42 y 6.43).

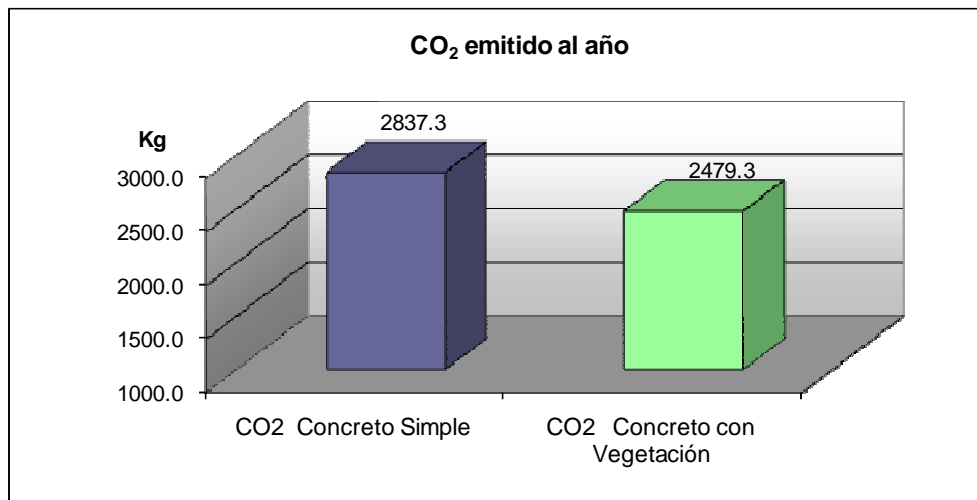
CO₂

Mes	Concreto Simple	Concreto Naturado
	Emisión de CO ₂ kg	Emisión de CO ₂ kg
enero	222.9	213.9
febrero	213.1	194.8
marzo	240.6	204.8
abril	239.3	200.8
mayo	269.6	210.9
junio	259.2	202.9
julio	242.9	203.3
agosto	227.7	202.3
septiembre	229.5	198.1
octubre	232.6	207.3
noviembre	213.1	205.3
diciembre	246.9	234.9

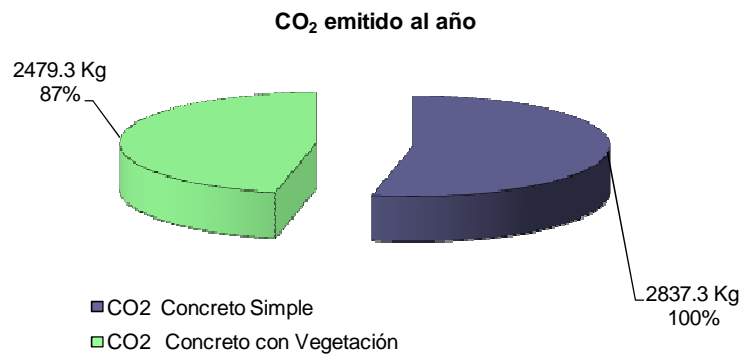
Tabla 6.15. CO₂ emitido al mes por los modelos de concreto.
Cálculo generado en Energy Plus (DOE, 2009).



Gráfica 6.41. Comparativo de CO₂ emitido mensualmente



Gráfica 6.42. Emisión de Co2 en magnitud anual



Gráfica 6.43. Emisiones de CO2 en porcentaje anual

De acuerdo con estos resultados, la aplicación de la naturación sobre la losa y muros sur de concreto **reduce en un 13% la emisión de CO₂** total de edificio hacia la atmósfera.

Debemos hacer notar que el cálculo de la emisión de este gas de efecto invernadero (GEI) toma en cuenta la energía total utilizada por el edificio para su funcionamiento que se reparte entre energía eléctrica utilizada por los dos usuarios en un patrón de utilización preestablecido con uso de electrodomésticos convencionales, los misceláneos del sistema que comprende bombes de agua, iluminación y sistemas auxiliares, así como calentamiento de agua para uso del baño principalmente, y consumo de gas para cocinar. Por esto el porcentaje es pequeño al mantenerse invariables los demás consumos energéticos por ocupación.

MODELO DE VIVIENDA CON LÁMINA

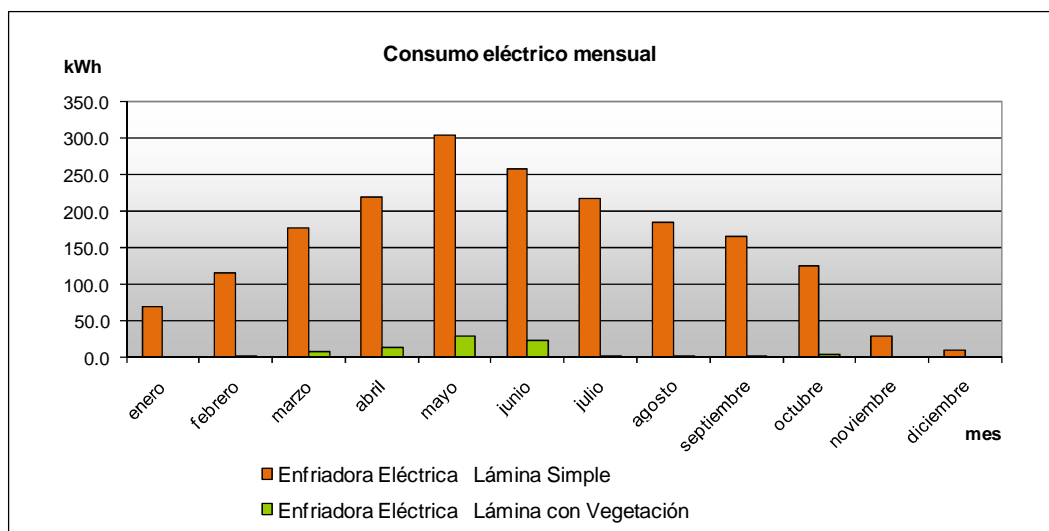
6.7.2. Demanda energética de los modelos de Lámina. Simple vs. Naturada

6.7.2.1. Electricidad para enfriamiento (Tabla 6.16).

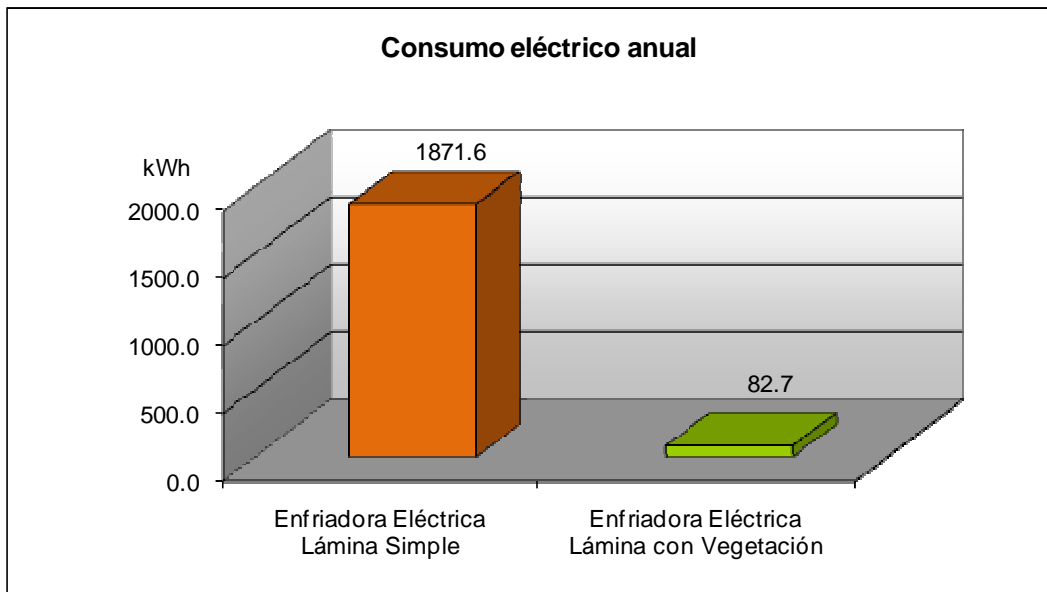
Mes	Lámina Simple	Lámina Naturada
	Consumo eléctrico kWh	Consumo eléctrico kWh
enero	68.6	0.0
febrero	115.3	0.1
marzo	176.6	7.9
abril	219.3	13.2
mayo	303.5	28.1
junio	256.6	23.7
julio	217.6	2.2
agosto	184.8	1.2
septiembre	165.1	2.5
octubre	124.1	3.8
noviembre	29.7	0.0
diciembre	10.4	0.0

Tabla 6.16. Demanda Eléctrica mensual por enfriamiento para los modelos de lámina.
Cálculo generado en Energy Plus (DOE, 2009).

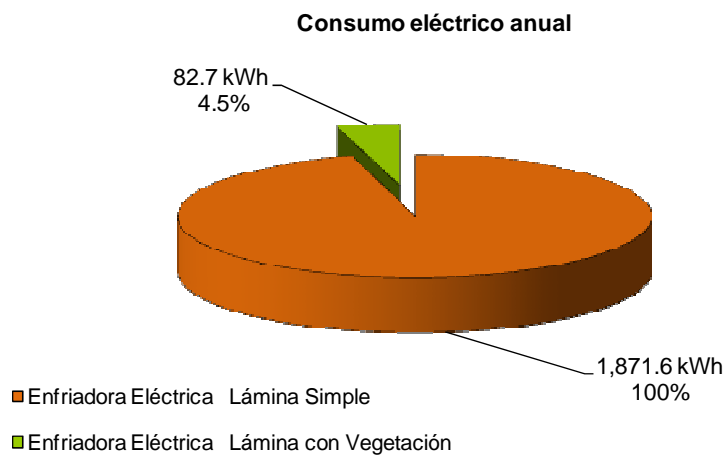
Gráficas de consumos comparados. Lámina Simple vs Naturada (Gráficas 6.44, 6.45 y 6.46)



Gráfica 6.44. Consumo eléctrico mensual comparado



Gráfica 6.45. Comparación anual en magnitud



Gráfica 6.46. Comparación porcentual

De acuerdo con estas cifras, el sistema de naturación propuesto estaría aportando un **ahorro del 95.5%** anual en consumo de energía eléctrica por concepto de enfriamiento eléctrico con equipo mecánico split para hacer entrar el espacio en confort.

6.7.2.1.1. Gasto y ahorro por enfriamiento

La diferencia entre el sistema de lámina simple contra lámina naturadas arroja un ahorro anual de \$1,250.00 pesos mexicanos con las tarifas vigentes en noviembre de 2010 (Tabla 6.17). Lo que significa un ahorro monetario del 95% por este concepto.

Tabla 6.17. Ahorro que aporta el sistema de naturación. Electricidad. Lámina Simple vs. Lámina naturada

Concepto	Gasto Anual kWh	Precio * \$ m.n.	Total \$ m.n.
Lámina Simple	1871	0.711	1330.281
Lámina Naturada	82.7	0.711	58.7997
Ahorro	1788.3	0.711	1,271.4813

*Tarifa de recibo doméstico CFE al 28 de febrero 20100

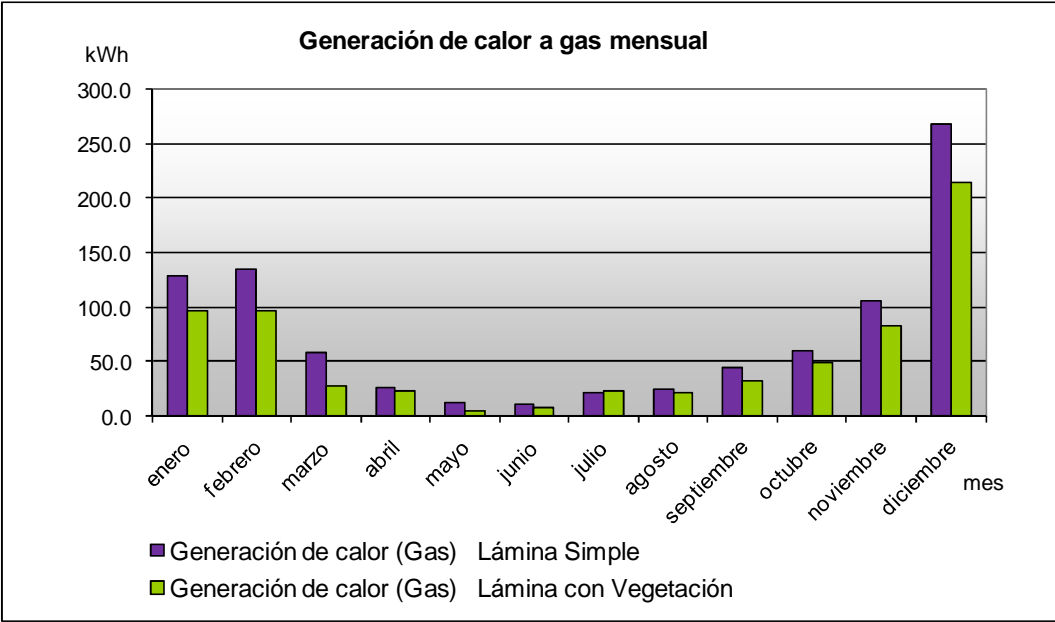
6.7.2.2. Gas para calentamiento

En lo referente al consumo de gas por calentamiento para hacer entrar en confort el edificio analizado, se obtuvieron los consumos generados (Tabla 6.18)

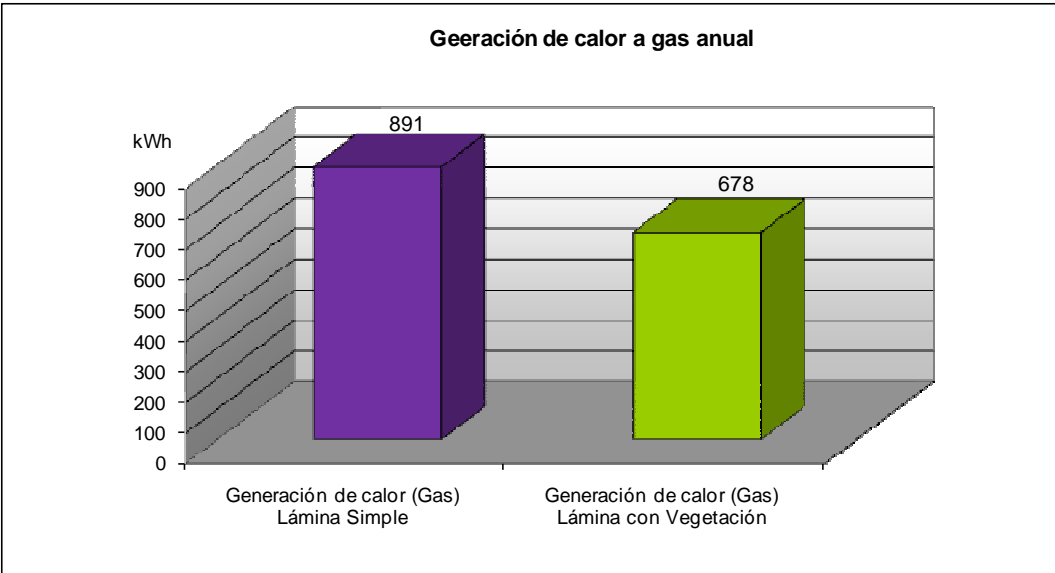
Mes	Lámina Simple	Lámina Naturada
	Generación de calor (Gas) kWh	Generación de calor (Gas) kWh
enero	127.9	96.8
febrero	134.6	96.8
marzo	57.5	26.7
abril	26.3	23.5
mayo	11.8	4.9
junio	10.0	7.4
julio	21.7	22.9
agosto	24.7	21.3
septiembre	44.9	32.1
octubre	59.1	49.2
noviembre	105.1	81.9
diciembre	267.9	214.6

Tabla 6.18. Generación de calor en base a gas por calentamiento del espacio para los modelos de lámina. Cálculo generado en Energy Plus (DOE, 2009).

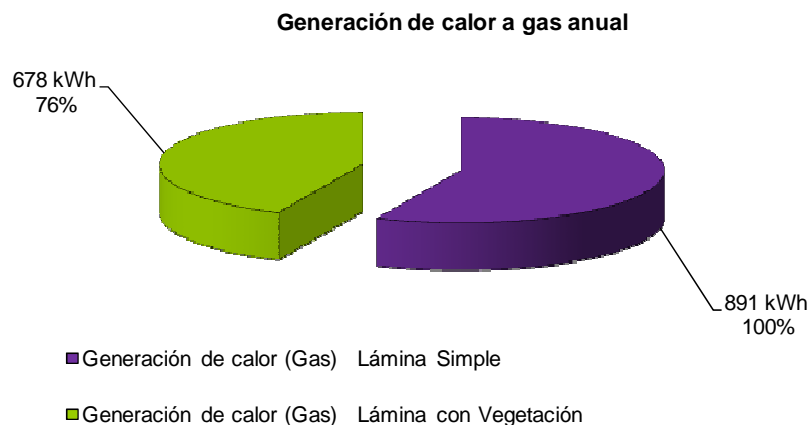
Gráficas de consumos comparados. Lámina Simple vs. Naturada (Gráficas 6.47, 6.48 y 6.49)



Gráfica 6.47. Generación de calor en base a gas, mensual comparado



Gráfica 6.48. Generación de calor a gas, anual en magnitud



Gráfica 6.49. Generación de calor a gas, comparación porcentual

De acuerdo con estas cifras, implementando el sistema de naturación a la cubierta de lámina simple, además de los muros al sur, se llega a tener un **ahorro del 24%** anual en generación de calor con gas para hacer entrar el espacio interior en confort.

6.7.2.2.1. Gasto y ahorro por calentamiento

La casa con Lámina Simple requiere un gasto de \$553.00 m. n. (Tabla 6.19), mientras la de Lámina Naturada requiere un gasto de \$420.00 m. n. (Tabla 6.20). Esta diferencia representa un ahorro de \$132.00 m. n. Equivalente al 24% de ahorro monetario anual por calentamiento.

Tabla 6.19. Ahorro que aporta el sistema. Gasto en gas por calentamiento. **Lámina Simple**

	Generación de Calor (Gas)	Equivalencia en energía	Potencia equipo 75,000/h	Consumo de Gas 1.35Kg@75,000 BTU /h	Costo gas* \$10.1/Kg
Mes	kWh	BTU	BTU/h	kg/h	\$ m.n.
enero	127.9	436267.0	5.8	7.9	79.3
febrero	134.6	459427.2	6.1	8.3	83.5
marzo	57.5	196231.2	2.6	3.5	35.7
abril	26.3	89705.8	1.2	1.6	16.3
mayo	11.8	40159.5	0.5	0.7	7.3
junio	10.0	33977.9	0.5	0.6	6.2
julio	21.7	74107.5	1.0	1.3	13.5
agosto	24.7	84445.9	1.1	1.5	15.4
septiembre	44.9	153161.6	2.0	2.8	27.8
octubre	59.1	201681.5	2.7	3.6	36.7
noviembre	105.1	358579.4	4.8	6.5	65.2
diciembre	267.9	914040.3	12.2	16.5	166.2
ANUAL				54.8	553.0

* Precio del gas comenrcial al en marzo de 2011.

Tabla 6.20. Ahorro que aporta el sistema. Gasto en gas por calentamiento. **Lámina Naturada**

	Generación de Calor (Gas)	Equivalencia en energía	Potencia equipo 75,000/h	Consumo de Gas 1.35kg@75,000 BTU /h	Costo gas* \$10.1/kg
Mes	kWh	BTU	BTU/h	Kg/h	\$ m.n.
enero	96.8	330441.4	4.4	5.9	60.1
febrero	96.8	330136.8	4.4	5.9	60.0
marzo	26.7	91219.1	1.2	1.6	16.6
abril	23.5	80204.5	1.1	1.4	14.6
mayo	4.9	16667.0	0.2	0.3	3.0
junio	7.4	25122.4	0.3	0.5	4.6
julio	22.9	78083.8	1.0	1.4	14.2
agosto	21.3	72653.3	1.0	1.3	13.2
septiembre	32.1	109478.8	1.5	2.0	19.9
octubre	49.2	167876.6	2.2	3.0	30.5
noviembre	81.9	279427.2	3.7	5.0	50.8
diciembre	214.6	732403.6	9.8	13.2	133.2
ANUAL				41.6	420.6

* Precio del gas comenrcial al en marzo de 2011.

Sumando los ahorros que aportan la electricidad y el consumo de gas se obtiene un ahorro en dinero por consumo de estas energías de \$1,382.00, m. n.

Como se puede ver los ahorros en energía eléctrica y consumo de gas parecen no ser importantes, pero pueden convertirse en cero si a este sistema se suman más estrategias de diseño bioclimático. Recordemos que estas casas son un caso típico de vivienda en conjunto habitacional, que es un modelo muy predominante en el sector popular.

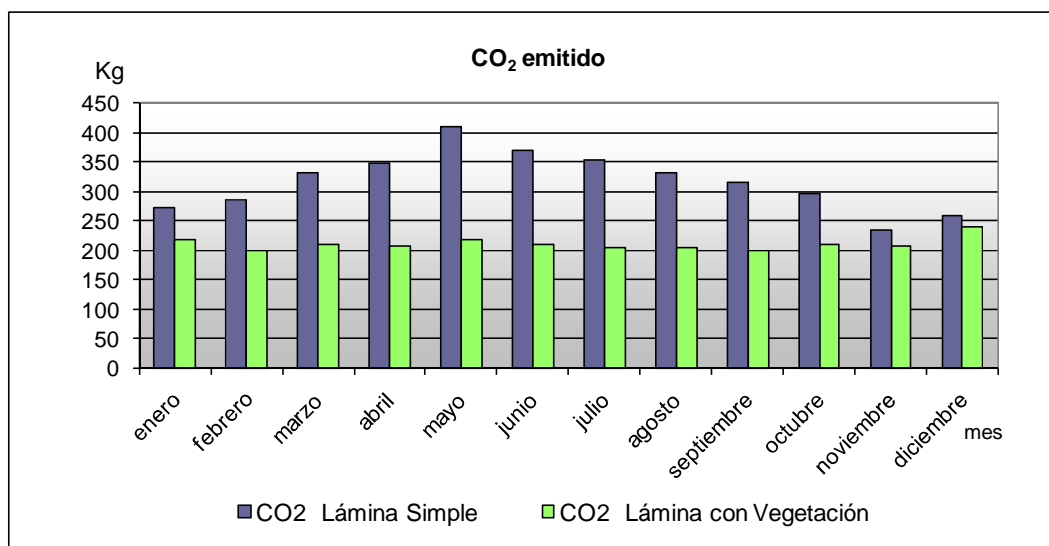
6.7.2.3. Emisión de CO₂ de los modelos de Lámina. Simple vs Naturada

También para comparar el desempeño de el edificio con envolvente de Lámina Simple y Lámina Naturada, se estima el CO₂ que emite nuestra edificación en base a los consumos de energía eléctrica y la combustión directa para calentamiento con gas (Tabla 6.21) y (Gráficas 6.50, 6.51 y 6.52).

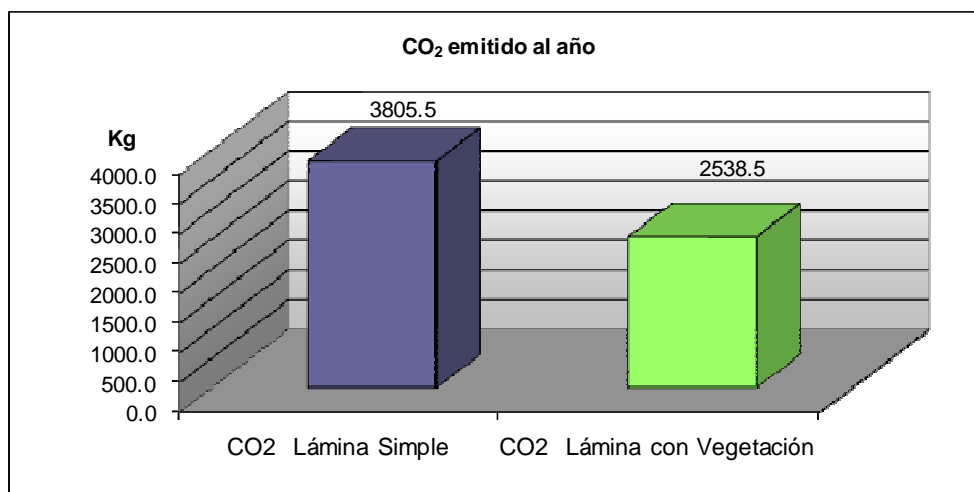
CO₂

Mes	Concreto Simple	Concreto Naturado
	Emisión de CO ₂ kg	Emisión de CO ₂ kg
enero	271.4	218.4
febrero	285.5	199.2
marzo	331.7	210.1
abril	348.5	206.8
mayo	409.7	219.7
junio	370.8	210.8
julio	352.9	205.6
agosto	330.9	204.5
septiembre	315.0	201.1
octubre	296.1	211.8
noviembre	234.0	209.1
diciembre	258.9	241.4

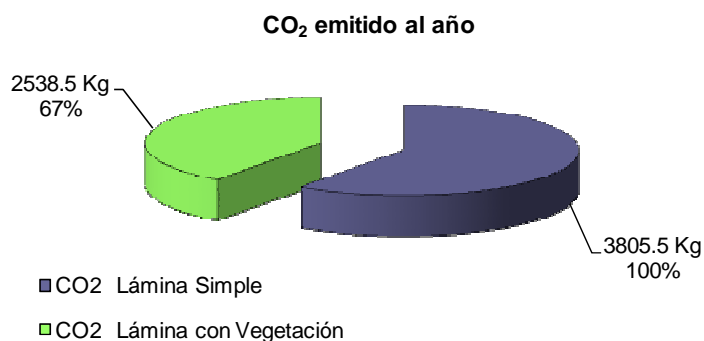
Tabla 6.21. CO₂ emitido al mes por los modelos de lámina.
Cálculo generado en Energy Plus (DOE, 2009).



Gráfica 6.50. Comparativo de CO₂ emitido mensualmente



Gráfica 6.51. Emisión de CO₂ en magnitud anual



Gráfica 6.52. Emisiones de CO₂ en porcentaje anual

De acuerdo con estos resultados, la aplicación de la naturación sobre los elementos de concreto **reduce en un 33%** la emisión de CO₂ total de edificio hacia la atmósfera.

Así como los impactos positivos en la reducción de este GEI, es indirecta a través del tratamiento térmico de la envolvente del edificio con la reducción en el uso de energía para calentar o enfriar el espacio, existen más beneficios en la asimilación de CO₂ de manera directa que aporta el sistema, analizados más adelante.

6.7.3. Otros contaminantes evitados por ahorro energético. Concreto y Lámina

Como se dijo anteriormente, la reducción indirecta de la emisión de CO₂ al disminuir la quema de hidrocarburos para enfriar eléctricamente y calentar con quema directa de gas el

espacio habitable, consigue emitir el 13% menos CO₂, en el caso de la losa de concreto; y se evita emitir un 33% de CO₂ en el caso de la lámina naturada, respecto a la lámina simple.

De acuerdo a la cantidad de contaminantes que se dejan de emitir por ahorro en consumo energético eléctrico (Tabla 6.22) al implementar la cubierta naturada se evitan:

***Contaminantes que dejan de emitirse
a la atmósfera por cada kW/h ahorrado
por el consumo final***

- 681 gramos de CO₂
- 5.8 gramos de SO₂
- 2.5 gramos de NO_x
- 0.35 gramos de polvo y partículas suspendidas
- 3.6 m³ de agua

Tabla 6.22. Contaminantes que dejan de emitirse a la atmósfera por cada kW/h ahorrado por el consumo final

Fuentes: FIDE, 1997; DOE, 1996, en García y Fuentes (2000)

Con esta base de equivalencias obtenemos la cantidad de contaminantes que se dejan de emitir al aplicar el sistema de naturación al modelo de concreto (Tabla 6.23). Así como al modelos de Lámina (Tabla 6.24).

Tabla 6.23. Contaminantes indirectos evitados por la Naturación. Concreto Simple Vs. Concreto naturado

Modelo	Gasto Anual kWh	CO₂ (kg)	SO₂ (kg)	NO_x (kg)	PPS (gr)	Vapor de Agua (m³)
Concreto Simple	469	319.39	2.72	1.17	164.15	1,688.40
Concreto Naturado	40	27.24	0.23	0.07	14	144.00
No Emitidos	429	292.15	2.49	0.73	150.15	1,544.40

Tabla 6.24. Contaminantes indirectos evitados por la Naturación. Concreto Simple Vs. Concreto naturado
Lámina simple Vs. Lámina naturada

Modelo	Gasto Anual kWh	CO₂ (kg)	SO₂ (kg)	NO_x (kg)	PPS (gr)	Vapor de Agua (m³)
Lámina Simple	1871	1274.15	10.85	4.68	654.85	6,735.60
Lámina Naturada	82.7	56.32	0.48	0.14	28.945	297.72
No Emitidos	1788.3	1217.83	10.37	3.04	625.905	6,437.88

6.8. Método estático de evaluación del Sistema

Para tener otro punto de evaluación acerca del comportamiento y aportaciones del sistema de naturación a una edificación se llevó a cabo otra simulación matemática con un método estático en base a ecuaciones de geometría solar e incidencia de energía solar sobre el sistema. Se llevó a cabo la estimación de la radiación solar incidente, la ganancia térmica por radiación y conducción sobre la losa, en base a la hoja de cálculo de *Balance Térmico* (Fuentes, 2000), comparando el mismo modelo base (Figura 6.2) con tres variantes. El primer modelo, que se toma como modelo de un material común, es el edificio base con una losa sencilla de concreto de 10 cm de espesor, con impermeabilizante al exterior y plafón de yeso de 2 cm al interior. El segundo modelo corresponde al espacio con cubierta de lámina sencilla de 2 mm de espesor y se toma como Modelo de Referencia al ser comparado con el modelo 3. El tercer modelo corresponde al edificio con cubierta de lámina sencilla de 2 mm de espesor y una cobertura exterior de tres capas vegetales cada una de 5mm de espesor, y se considera entre cada capa de vegetación una cavidad de aire de 2 cm que corresponde al patrón de acomodo observado en el proceso de manejo de la planta.

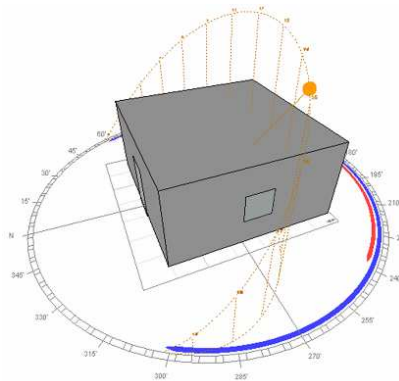


Figura 6.2. Modelo base de la estimación estática.

De este procedimiento se obtuvieron los resultados que describimos de manera general en adelante. Los resultados detallados, gráficas y desarrollo de cálculos se presentan para su consulta en el **ANEXO 4** de este trabajo.

El Coeficiente de Transmisión “U” de la cubierta de lámina con vegetación es 31% menor que el de la losa de concreto y 57.4% menor al de la lámina sin vegetación.

La ganancia solar Q_s de la cubierta de lámina con vegetación es 26.2% menor que el de la losa de concreto y 40.7% menor al de la lámina sin vegetación.

La ganancia por conductividad Q_c de la cubierta de lámina con vegetación es 32% menor que el de la losa de concreto y 58% menor al de la lámina sin vegetación.

Aun cuando este ejercicio se hace con un modelo de estimación estático y desarrollado sólo para una fecha en época calurosa, se pueden observar los efectos positivos de la aplicación de vegetación sobre una cubierta de lámina.

6.9. CONCLUSIONES

- Se obtuvo el comportamiento de nuestro sistema con valores térmicos que se pueden programar e intercambiar, para en adelante estimar los impactos de la aplicación de este sistema a otros edificios. Se aporta de esta manera certidumbre en el uso del sistema en proyectos, así como en sus impactos energéticos.
- La aplicación del Sistema de Naturación Aligerado contribuye a mejorar el comportamiento térmico del edificio tanto en verano y primavera, como en otoño. Acerca de manera significativa las temperaturas interiores a la zona de confort. Sin embargo, la aplicación del sistema sobre concreto y sobre lámina no basta para hacer entrar en confort el edificio, por lo que se debe complementar con otras estrategias de diseño bioclimático.
- La naturación sobre la losa de concreto reduce la admisión de calor al interior de el edificio, lo que resulta muy ventajoso en primavera y verano. El mismo efecto de enfriamiento diurno se produce también en diciembre, por lo que para este mes se deben implementar otras estrategias de ganancias solares directas que son totalmente viables y por esto el sistema resulta congruente con las características climáticas de la Ciudad de México.
- En todos los meses la losa de concreto con plantas (CP) reduce la oscilación y mejoró su comportamiento térmico nocturno al evitar que el calor se ceda al exterior.
- Durante el mes de mayo el Sistema de Naturación Aligerado estabiliza las temperaturas diurnas y nocturnas, teniendo sobre todo una reducción muy significativa de los picos de sobrecalentamiento, respecto de la T_{ext} como en relación a la Losa de Concreto Simple. Manteniendo así la T_{int} dentro de la zona de confort la mayor parte del mes, y cerca de ésta durante la noche.
- La T_{ext} presenta cambios repentinos que son suavizados por la envolvente vegetal con mayor efectividad que con la losa de Concreto Simple, manteniendo también su desarrollo más cercano a la zona de confort en la noche.
- La aplicación de la envolvente vegetal aporta ahorros en consumo de electricidad por enfriamiento mecánico del espacio para hacerlo entrar en confort, en el orden de 91% en el caso del concreto, y del orden del 95% para el caso de la lámina. En consumo de gas, el sistema promueve un ahorro del 38% de gas para el caso del concreto y del 24% para la lámina.
- Los ahorros en consumos energéticos promueven que se reduzca en un 13% la emisión de CO_2 al ambiente en el caso de concreto y en un 33% en el caso de la lámina.
- Tanto el modelo de evaluación dinámico, como el estático, confirman que la aplicación del Sistema de Naturación Aligerado en cubierta y muros es una estrategia adecuada para contribuir al mejoramiento del confort térmico en un edificio, que además de aportar condiciones habitables a los usuarios, reducen gastos energéticos, gastos monetarios, y mitigan la emisión de Gases de Efecto Invernadero.

CAPÍTULO

7

APLICACIONES AL PROYECTO ARQUITECTÓNICO

ÍNDICE DEL CAPÍTULO 7

- 7.1. Diagramas Bioclimáticos
- 7.2. RFA y Pitahaya aplicadas a un edificio
- 7.3. CO₂ y Pitahaya aplicada en un edificio y en la Ciudad
- 7.4. Aplicaciones arquitectónicas básicas
 - 7.4.1. Cubiertas
 - 7.4.2. Muros
- 7.5. Campo de aplicación
- 7.6. Geometrías viables para el Sistema
- 7.7. Aplicación por capacidades de carga
 - 7.7.1. Edificios de más de 5 m. de altura
 - 7.7.2. Edificios de menos de 5 m. de altura
- 7.8. Costo del Sistema
- 7.9. Riego
- 7.10. Conclusiones

Con los datos obtenidos de las mediciones, las variables ecológicas, las consideraciones técnicas y en general las investigadas en este trabajo, se concretan algunos lineamientos básicos de diseño para la aplicación del Sistema Aligerado de Naturación.

7.1. Diagramas Bioclimáticos

De acuerdo con los estrategias recomendadas para la localidad de Azcapotzalco, preentadas en el Capítulo 4 de este trabajo (Tablas y gráficas en el ANEXO 1) se emncionan las principales contribuciones que hace el Sistema de Naturación Aligerado a un edificio y sus condiciones de habitabilidad. El método que aporta más elementos de correlación es la Carta Psicrométrica construida para las condiciones de esta localidad de acuerdo con Szokolay (1999), debido a que es el que abarca la mayor cantidad de estrategias. En segundo grado de completud, la Carta Bioclimática, al incluir magnitudes de radiación requerida.

- **Mhoney:** De acuerdo con éste método el modelo de casa antes analizado, al que se incorporó el Sistema Aligerado, tiene una orientación adecuada (Norte-Sur) de la fachada principal, pero el eje largo es contrario a lo recomendado (N-S, en vez de E-O). el modelo tiene configuración compacta (adecuada). Se disponen habitaciones en doble galería (adecuado). Aberturas pequeñas entre el 20 y 30% (adecuadas). Aberturas en los paramentos Norte y Sur (adecuadas). Los muros y pisos no son masivos, ni tienen el tiempo de retardo térmico mayor a 8 horas que recomienda Mahoney, que es la principal carencia de la casa, y que es el punto más bulnerables de las construcciones de materiales ligeros. Se reuiere ventilación temporal para mitigar sobrecalentamiento:

- A este respecto se puede decir que para un sistema de construcción ligera, con la naturación aplicada a la envolvente, se deberá evitar la disipación de calor por ventilación y tratar de incluir elementos Masivos de almacenamiento de calor independientes a la envolvente, que pueden ser pisos radiantes, entresijos masivos, uno de los muros (sur) con Masa térmica, invernaderos secos, muros trombe, paredes radiantes, etc. Asimismo incluir algún aislante.

- **Triángulos de Confort de Evans:** Las esrategias recomendadas por este método marcan la necesidad de incluir en meses fríos Masa térmica más Ganancia Solar, así como Masa térmica en los meses cálidos para mitigar sobrecalentamiento.

- Para un modelos de materiales ligeros, la masa térmica deberá ser independiente de la envolvente como se mencionó antes, y la ganancia solar es viable mediante el diseño adecuado, y la disposición de ventanas en el muro sur.

- **Carata Bioclimática:** Nos indica que es necesario el sombreado en todos los meses para revertir el sobrecalentamiento cuando se presentan las T máx, y gran parte del día en época cálida. Igualmente noa recomienda ganancias solares, que mediante la liberación de los muros sur son aseguibles, siempre y cuando se refuerce con elementos de almacenamiento

calorífico independientes a la envolvente, Ya comentados líneas antes. Se indica la necesidad de ventilación.

• El sistema de Naturación Aligerado suprime el sobrecalentamiento interior durante las T máx y en época de calor, lo que cubre la recomendación de sombreado durante todo el año. Acerca de la ventilación se recomienda moderar al mínimo, y el calor excedente que se ten presente almacenarlo para el período de bajocalentamiento nocturno. Las ganancias solares son viables mediante apertura de ventanas en muros sur y manejo de ciergos en ventanas.

• **Carta Psicrométrica:** En el primer semestre analizado con éste método (Szokolay, 1999) se registra que el 50% de mayo (mes más cálido) se sitúa por debajo de la Zona de Confort de invierno; un 20% del mes sale de confort de verano por sobrecalentamiento; y sólo el 30% del mes está dentro de la Zona de Confort de invierno y verano. Todos los meses del 1er semestre presentan al menos la mitad del tiempo bajocalentamiento. En mayo, agosto y junio el bajocalentamiento puede ser revertido con calentamiento solar pasivo.

• En enero, el 45% del mes que está por debajo de la zona de confort de invierno puede compensado con Calentamiento Solar Pasivo. Un 15% del mes sólo puede entrar en confort de invierno con Calentamiento Solar Activo. Un 21% sólo entrará en confort con uso de combustibles.

Hacemos notar que el 15% del mes que puede ser calentado con Calentamiento Solar Activo, puede reducirse por efecto del Sistema de Naturación Aligerado, dado que puede contribuir a conservar entre 1 y 2 grados en la noche, cuando la diferencia entre la zona de Calentamiento Solar Pasivo y la de Calentamiento Solar Activo en la Psicrometría corresponde a 2.5°C, o el 20% de eficiencia del sistema de climatización pasiva.

• El bajocalentamiento en el mes de marzo puede ser mitigado hasta en un 99% por Calentamiento Solar Pasivo.

• En los meses cálidos, el sobrecalentamiento como se demostró en las corridas térmicas de Design Builder (DSB, 2010), se suprime casi en su totalidad con la implementación del Sistema de Naturación Aligerado, lo que de acuerdo a la Carta Psicrométrica se controlaría solo con masa térmica de verano para los meses de marzo y abril y mayo sólo con enfriamiento evaporativo directo. En base a éste análisis podemos decir que:

• El sistema de Naturación Aligerado puede cubrir las funciones de la Masa térmica de verano en losa y del enfriamiento evaporativo directo para los meses de marzo, abril y mayo, aún en un elemento ligero tan vulnerable como la lámina.

• La ventilación en la Psicrometría es indicada como estrategia para mitigar el sobrecalentamiento en julio, agosto y septiembre. Con la aplicación de la Envolvente Verde el sobrecalentamiento se mitiga, y se reduce ventilación y con esto se reduce la pérdida de calor que puede ser almacenado.

• La Carta Psicrométrica recomienda la incorporación de Masa térmica tanto de verano como de invierno. En un edificio de materiales ligeros en la envolvente se debe buscar en proceso de diseño, incorporar elementos masivos de almacenamiento calorífico, que permitan tanto en invierno como en verano aprovechar las T máx diurnas para liberar éste calor durante los momentos de bajocalentamiento, principalmente nocturnos. A esto pueden contribuir otras tecnologías pasivas como pisos y muros radiante, estrategias como el aislamiento.

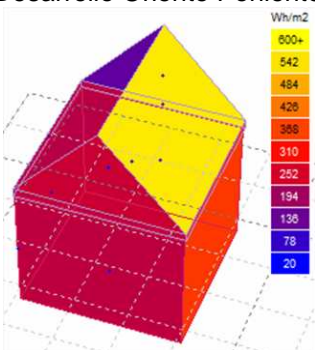
• Dado que en todos los métodos se recomienda la ganancia solar en todo el año y muy marcadamente en invierno, se recomienda la mayor apertura posible de vanos del muro sur, con ciegos de madera o materiales aislantes al interior del edificio. Por esto, resulta conveniente para la casa que analizamos la incorporación del sistema de Naturación sólo en los espacios que queden libres después de calcular las ventanas para Ganancia Solar Directa en muros sur.

7.2. RFA y Pitahaya, aplicadas a un edificio

Se establece en primer término que existe compatibilidad de los niveles de RFA que tienen la zona de proyecto y los niveles que requiere la pitahaya, por lo que nuestro sistema es factible de ser aplicado a envolventes en la zona de Azcapotzalco (y otras de la ZMVM, previa revisión y manejo), siempre que se tengan en cuenta algunas consideraciones de diseño, uso, estabilidad de la planta y resultados que serán mencionadas en adelante.

Para tener certeza en este aspecto, se realizó una estimación de la Radiación incidente para diferentes geometrías a las que se puede aplicar el sistema de naturación aligerado, que debe ser un parámetro indispensable de la vegetación aplicada a cubiertas y muros, (Tabla 7.1).

Tabla 7.1. RFA en superficies de diseño Para *Hylocereus undatus*
Calculado en Ecotect (Autodesk, 2010) y su equivalencia en RFA de acuerdo con Hortilux (2010).

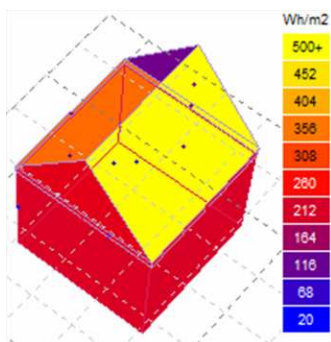
MODELO	RADIACIÓN INCIDENTE W/h m ²	RFA μmol m ² s ⁻¹
TECHO 45° Desarrollo Oriente Poniente 	Promedio en un periodo de 12:00 a 15:00hrs. DICIEMBRE 21 • Cubierta sur 600 • Cubierta norte 252 • Muro sur 368 • Muro oriente 136 • Muro poniente 194 • Muro norte 136 Radiación total 571 W/m ²	• 1,290 • 150 • 860 • 200 • 323 • 230

MODELO

RADIACIÓN INCIDENTE

RFA
 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$

TECHO 45° Desarrollo Oriente Poniente

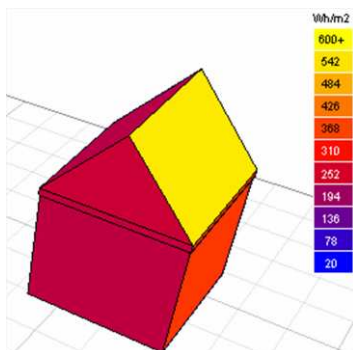


Promedio en un periodo de 12:00 a 15:00hrs. MARZO 21

• Cubierta sur	500	1,075
• Cubierta norte	356	800
• Muro sur	212	430
• Muro oriente	116	323
• Muro poniente	212	430
• Muro norte	116	215

Radiación total 750 W/m²

TECHO 45° Desarrollo Norte Sur

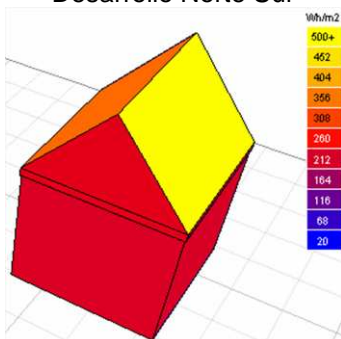


Promedio en un periodo de las 12:00 a las 15:00hrs. DICIEMBRE 21

• Cubierta oriente	194	430
• Cubierta poniente	600	1,290
• Muro sur	130	323
• Muro oriente	130	323
• Muro poniente	368	860
• Muro norte	194	430

Radiación total 571 W/m²

TECHO 45° Desarrollo Norte Sur



Promedio en un periodo de las 12:00 a las 15:00hrs. MARZO 21

• Cubierta oriente	194	430
• Cubierta poniente	600	1,290
• Muro sur	130	323
• Muro oriente	130	323
• Muro poniente	368	860
• Muro norte	194	430

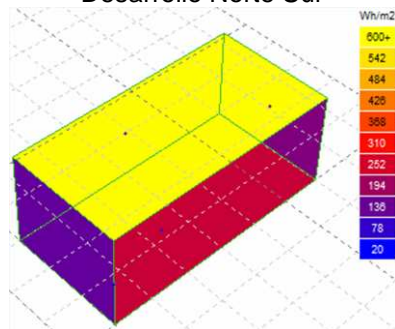
Radiación total 750 W/m²

MODELO

RADIACIÓN INCIDENTE W/h m²

RFA μMol m² s⁻¹

TECHO PLANO Desarrollo Norte Sur

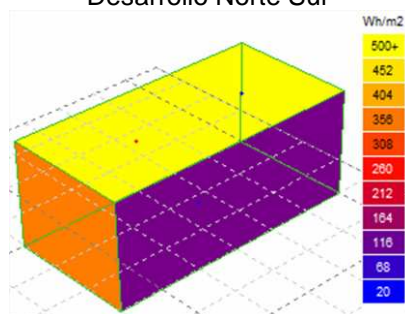


Promedio en un periodo de las
12:00 a las 15:00hrs. MARZO 21

• Cubierta	600	1,290
• Muro sur	180	430
• Muro oriente	136	323
• Muro poniente	136	323
• Muro norte	136	323

Radiación total 750 W/m²

TECHO PLANO Desarrollo Norte Sur



Promedio de las 12:00 a las
15:00hrs. DICIEMBRE 21

• Cubierta	500	1,075
• Muro sur	356	860
• Muro oriente	116	215
• Muro poniente	260	538
• Muro norte	136	323

Radiación total 571 W/m²

De acuerdo al análisis realizado, teóricamente es factible la naturación con buen desempeño de *Hylocereus undatus* en estas superficies de techumbre. Sin embargo, debemos tomar en cuenta que la radiación está calculada en base a las normales de la Media Histórica del Observatorio de Tacubaya, Período 1951-1980.

Es muy importante mencionar que en las mediciones llevadas a cabo con el piranómetro del Laboratorio de Energía Solar de la UAM Azcapotzalco, la radiación total en el mes de abril de este 2010, ha llegado a más de 800 W/h m², y en mayo se registraron niveles de más de 1,000 W/h m², lo que equivale a más de 1,720 μMol m⁻² s⁻¹, que rebasa el límite óptimo para la especie *Hylocereus*, en cuyo caso se deberá tener la necesidad de sombrear.

Igualmente se comprobó en las mediciones de cubos térmicos con la planta horizontal, que la capa única de vegetación sobre la lámina del cubo sufrió estrés por exceso de radiación, lo que nos establece importantes parámetros de diseño.

Por estas condiciones se recomienda el uso de *Hylocereus* en techumbres inclinadas, de un edificio con desarrollo en el eje norte a sur. Para techo inclinado desarrollado en el eje oriente – poniente, se recomienda el uso en la cubierta norte, o con estrategias de sombreo.

Para azoteas planas se recomienda el uso de este sistema bajo una primera cubierta de malla sombra al 30%, por ejemplo en terrazas o azoteas accesibles visualmente con la malla sombra a una altura suficiente para no bloquear su vista. Este sistema puede ser compatible con azoteas tipo terraza, donde el sombreado pueda tener altura de un entrepiso y permita ver la planta (croquis 1). En cubiertas terminales tiene la desventaja de que las plantas darías el servicio de mejoramiento térmico, pero visualmente se tendría una membrana de malla superficial que a la vista puede ser desagradable.

Igualmente en azoteas planas es probable su incorporación incorporando 4 capas de planta, tomando en cuenta que la capa superior de planta se encintrará bajo estrés y clorótica. Que no so las condiciones adecuadas para su salud, pero de acuerdo a los reportes de las condiciones de cultivo en centro América, particularmente Nicaragua, este arreglo es usual, y no provoca la muerte de la planta, aun cuando visualmente estará amarillenta. Este arreglo es viable cuando se priorice obtener los efectos térmicos de las capas vegetales a el atractivo estético.

7.3. CO₂ y Pitahaya aplicada en un edificio y en la Ciudad

En Azcapotzalco se encuentran fuentes emisoras que generan entre 40,000 y 100,000 ton/año de CO₂ (GDF, 2006).

La especie *Hylocereus undatus* tiene diferentes Tasas de intercambio de CO₂ (TIC), dependiendo de las condiciones del medio, la fase del día y las propias características de la planta. Dentro de las diferentes TIC medidas por Ortiz (1999), el comportamiento de *Hylocereus undatus* más cercano a las condiciones de la ciudad de México corresponde a una TIC de $3.89 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1} \text{CO}_2$ bajo condiciones naturales y sombreado, a una temperatura de 16.5°C con 83% de HR. Para Azcapotzalco las condiciones más similares a las mencionadas se presentan de las 7:00 a las 10:00 hrs cuando las temperatura horarias promedio van de los 10.2°C a los 16.4°C, y las humedades relativas horarias anuales promedio van del 72% al 62%. Ortiz registra que se da aproximadamente el 84% de intercambio de CO₂ y el patrón CAM entre las 7 y las 8 de la mañana. El otro 16% se da durante las 3 primeras horas del día. Asimismo, Raveh (Ortiz, 1999) registró que cuando la concentración atmosférica de CO₂ es mayor, aumenta la Tasa de Intercambio de CO₂ hasta en un 34%, a la vez que se presenta el metabolismo CAM. Como se mencionó en Azcapotzalco se preentan las más altas concentraciones este GEI (GDF, 2008), por lo que existen condiciones para que se de este comportamiento.

Con esta TIC durante 2 horas al día, por cada metro cuadrado de superficie naturada en capa sencilla, se podrían captar $3.89 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1} \text{CO}_2$. (Tabla 7.2).

Tabla 7.2. Conversión de μmol a gramos de CO_2

Nombre	Símbolo	Peso atómico	Número de átomos	Peso molecular	Unidad
CARBONO	C	12	1	12	
OXÍGENO	O	16	2	32	
				44	gr/mol
				0.000044	gr/ μmol

De acuerdo al peso molecular del CO_2 , se podrán intercambiar:

$$(0.000044 \text{ g})(3.89) = 0.00017116 \text{ g} \times 3600 \text{ s} = 0.616176 \text{ x } 2\text{h} = 1.24 \text{ g CO}_2 \text{ m}^{-2}$$

Considerando que el factor de cobertura de la planta estimado en este estudio es del 87% de una superficie en acomodo denso, por cada 1 m^2 se cubrirá 0.87 m^2 .

Por cada metro cuadrado del sistema de naturación aligerado en azotea, con 4 capas se podrán asimilar $1.24 \times 0.87 \times 4 = 4.31 \text{ g CO}_2$, de manera directa en un día.

Con esta proyección:

- Por cada hectárea de azotea naturada en 4 capas del sistema aligerado se asimilarían 43.15 Kg CO_2 al día, que corresponden a 15.75 ton/año, de manera directa, que corresponde al 0.0004% de la generación baja de GEI y al 0.00016% de la generación alta de GEI en Azcapotzalco que fluctúa entre 40 y 100 mil tons/año.

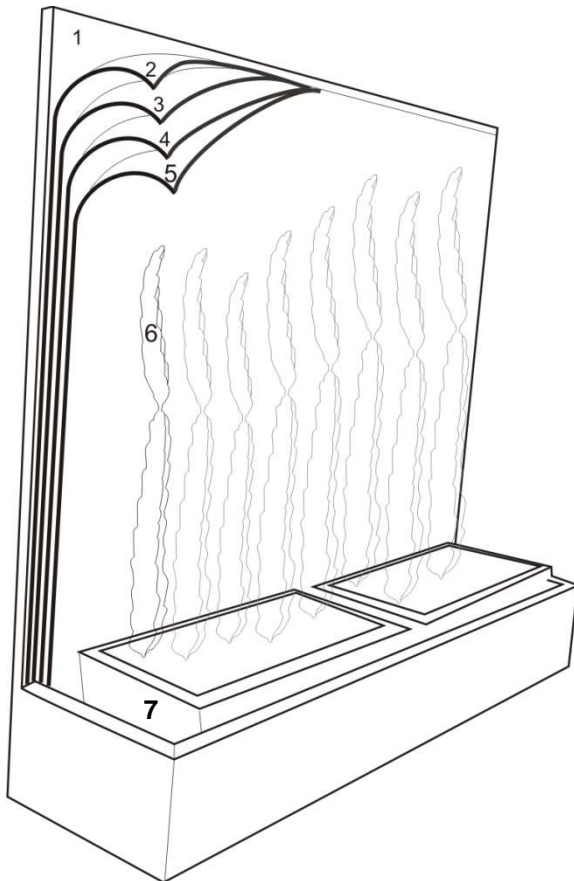
Actualmente el total de azoteas naturadas para la ciudad de México suma entre 11,000 y 13,000 m^2 de cobertura, por lo que conseguir 10,000 m^2 (1ha) cubiertas por el Sistema de Naturación Aligerado podría llevar mucho tiempo, a partir del momento en que sea tomado en cuenta como una alternativa de naturación para nuestra ciudad. Por esto es necesario impulsar su uso, y en general de cualquiera de los sistemas ya existentes que integren vegetación nativa de México adecuada a las condiciones de nuestra Ciudad.

La proyección de CO_2 directo que se deja de emitir parece ser pequeña comparada con la cantidad que producimos, tanto en la asimilación directa que puede aportar la naturación con Pitahaya, como en la disminución indirecta por reducir los consumos energéticos. Por esto, la incorporación de vegetación a la ciudad toma sentido a escala urbana, donde la suma de esfuerzos podrá aportar magnitudes considerables en este beneficio y los demás que se han mencionado en el documento.

7.4. Aplicaciones arquitectónicas básicas

El sistema constructivo básico se integra por 6 capas de materiales ligeros (Figura 7.1.).

Figura 7.1. Esquema base de partida del diseño



Nomenclatura

1. Base de lámina galvanizada cal. 20
2. Membrana impermeable de PVC
3. Membrana de Poliéster
4. Malla de Polipropileno
5. Membrana de Fibra de Coco
6. Vegetación
7. Macetas

Notas

* El amarre entre capas puede darse con cinturoncillos de alambre galvanizado o acerado.

** El amarre de las plantas es con mecahilo, mientras establecen sus raíces autoadherentes.

Las membranas y mallas integradas en este modelo unitario de diseño responden a los requerimientos del edificio para no ser invadido o agredido, tanto como las necesidades de la planta para lograr su pleno establecimiento como sistema de naturación integrado a un tutor artificial.

7.4.1. Cubiertas

El sistema aplicado en azoteas, inicia su cobertura en una charola perimetral, desde la cual crecen las plantas hacia la cumbrera (Figura 7.2).

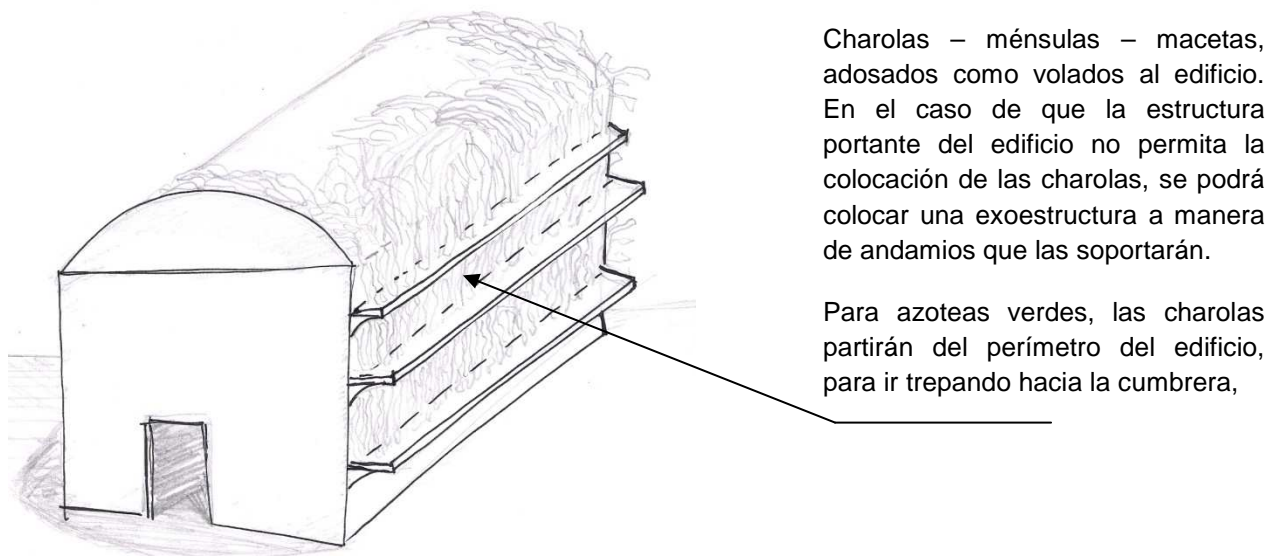


Figura 7.2. Sistema aplicado en azotea

Igualmente el sistema tiene desventajas que se pudieron conocer y estimar a través de la presente investigación. Una de ellas y tal vez la más importante, es que pese a ser una planta que suele encontrarse en zonas desérticas, al punto de ser uno de los recursos naturales que están revolucionando la industria agrícola israelí, en el desierto de Negev, Israel, requiere de sombreado de un 30%, que le da condiciones ideales para desarrollarse a plenitud.

A este respecto consideramos 3 maneras de usar la planta aplicada a una cubierta plana:

1. Expuesta directa a la radiación, considerando que la primera capa superior tendrá decoloración y estrés por exceso de radiación durante el verano y primavera. A su vez esta capa superior que estará sobreexpuesta dará sombreado a las capas inferiores que tendrán un pleno desarrollo (Figura 7.3).
2. Sombreada en esquema de terraza o Roof Garden vivitable: la planta puede estar sobre una cubierta plana de un espacio cuya azotea sea a la vez remate visual de un espacio más alto o sobre una azotea visitable, como Roof Garden, a la cual se incorporará un sombreado parcial que aporte un 30% de sombra para que todas las capas de vegetación se desarrollen a plenitud (Figura 7.4).
3. Sombreado directo sobre la capa final de la cubierta (Figura 7.5).

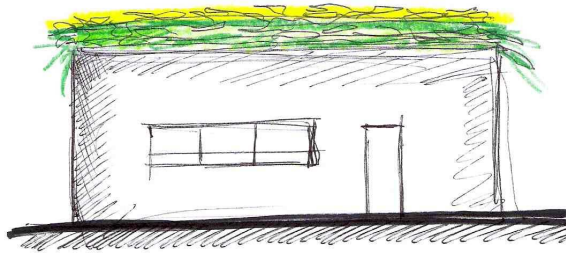


Figura 7.3. Aplicación directa al sol. La capa superior sirve de pantalla sombra a las inferiores

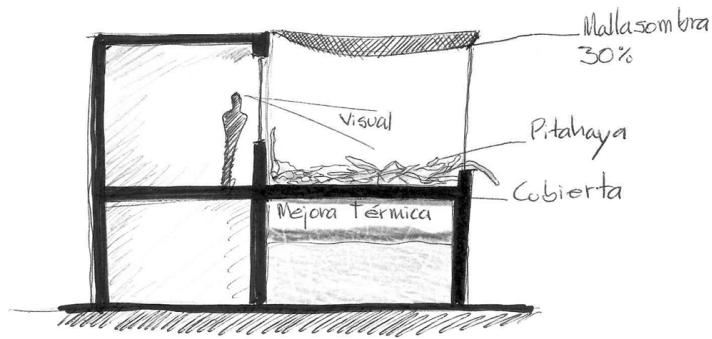


Figura 7.4. Terraza o Roof Garden visitable. Con una malla sombra reduciendo la incidencia de radiación.

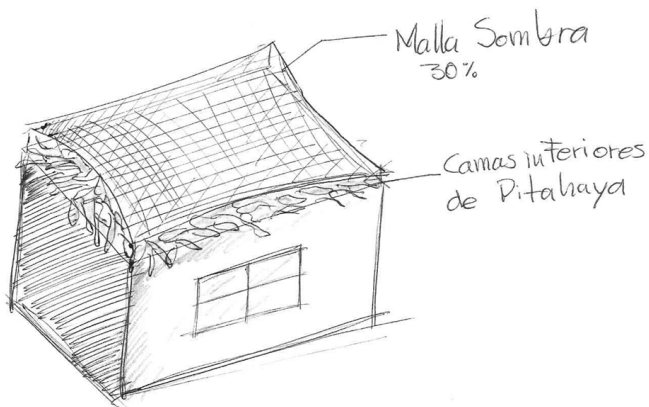
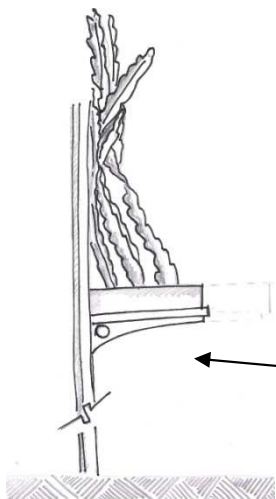


Figura 7.5. Aplicación en cubierta final con malla sombra sobrepuesta. En este caso el aspecto final será menos agradable por interponerse la malla entre la vista y la vegetación.

7.4.2. Muros

Las ménsulas de soporte del sistema se soportan de las columnas de carga. La ménsula a la vez que carga las plantas, puede permitir el paso de mangueras con válvulas autocompensadas para suministrar riego tecnificado (Figura 7.6).



Las vegetación se planta en tresbolillo y en tres filas del paramento hacia afuera, para lograr buena densidad de cobertura, pero sin saturar el espacio, para dejar espacio al desarrollo de la raíz, que es de aproximadamente 20 cm de diámetro.

Figura 7.6. Sistema aplicado en muros

Es importante recalcar que el peso no estará sobre el elemento divisorio, sino suspendido en la malla de polipropileno y las charolas sobre las columnas de apoyo.

7.5. Campo de aplicación

Como se ha visto en el desarrollo del presente trabajo, todo el grupo de edificios que está descartado de los sistemas de naturación existentes en la actualidad, son las geometrías y estructuras en las que se puede aplicar el sistema, permitiéndoles ser parte de una restauración de los espacios vegetales urbanos.

7.6. Geometrías viables para el Sistema

La manera en que se establece la Pitahaya como trepadora o rastrera, permite que se cubran geometrías de edificaciones que los sistemas tradicionales no pueden cubrir, o lo hacen con un gasto mayor en reforzamiento de la estructura o generación de topes para retener el sustrato. En la mayoría de los casos se desiste de la iniciativa de naturar.

La geometría de las edificaciones se vuelve más compleja de naturar a combinarse con la baja capacidad de carga, donde las posibilidades de adecuación de la estructura que la recibe son nulas al requerir su intervención, penetración o debilitamiento (Figuras 2.18, 2.19 y 2.20 del capítulo 2).

El sistema de Naturación Aligerado se sobrepone a la estructura transfiriendo su sujeción a elementos externos que ayudan incluso a la preservación de los elementos de la envolvente.

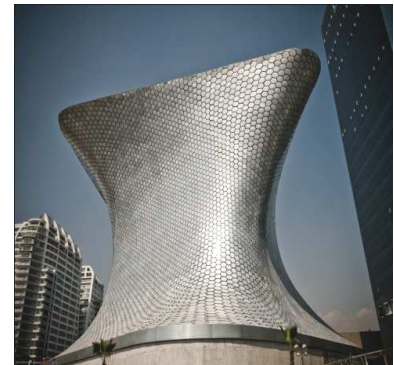
De esta manera, las cubiertas que no son planas o los muros que tienen inclinaciones pronunciadas y geometrías complejas son posibles de naturar mediante este sistema (Figuras 7.7. A, B y C).



A



B



C

Figuras 7.7. Geometrías posibles de ser naturadas con el Sistema Aligerado de Naturación.

A. Torre Banobras, obra de Mario Pani, 1962, Tlatelolco, D. F.;

B. Restaurante los Manantiales, obra de Félix Candela, 1958, Xochimilco, D. F.;

C. Museo Soumaya, obra de Fernando Romero, 2011. Polanco, D. F.;

Fuente: tomas fotográficas en sitio, 2010.

7.7. Aplicación por capacidades de carga

Peso del sistema en seco. En muros (Tabla 7.3) y en cubiertas (Tabla 7.4).

Tabla 7.3. peso del sistema en **Muro**

Elemento	Peso Kg / m ²			
	material	1 capa vegetal	2 capas vegetales	3 capas vegetales
Plantas	14.1	14.1	28.2	42.3
Membrana PVC	2	5.850	5.850	5.850
Malla Polipropileno	3			
Membrana Poliéster	0.350			
Membrana de Coco	0.5			
Total integrado	19.95	20	34	48

Tabla 7.4. peso del sistema en **Cubierta**

Elemento	Peso Kg / m ²			
	Peso unitario	1 capa vegetal	2 capas vegetales	4 capas vegetales
Plantas	15.55	15.55	31.1	62.2
Membrana PVC	2	7.850	7.850	7.850
Malla Polipropileno	3			
Membrana Poliéster	0.350			
Membrana de Coco	0.5			
Dren prefabricado	2			
Total integrado	19.95	20	40	70

Una vez que contamos con el peso de nuestro sistema, se hace la comparación con los sistemas de cubierta existentes de acuerdo con la NADF-013-RNAT-200 (Tabla 7.5), donde se establece que se consigue una reducción en peso de hasta un 50%, respecto del sistema extensivo más ligero.

Tabla 7.5. Comparativo de los sistemas existentes según la NADF-013-RNAT-200 y el sistema aligerado propuesto en **Cubierta**.

Tipo de naturación	Extensivo	Semi-intensivo	Intensivo	Aligerado
Altura de crecimiento de plantas	5 -50 cm	5 - 100 cm	5 -400 cm	3 – 15 cm
Diámetro de copa	No aplica	No aplica	300 cm máximo	No aplica
Sustrato	10 - 15 cm	15 -30 cm	> 40 cm	No aplica
Cobertura vegetal	Crasuláceas	Crasuláceas, pastos y arbustos	Crasuláceas, pastos, arbustos y árboles	Hylocereus
Peso del sistema	120-140 Kg/m2	140-250 Kg/m2	>250Kg/m2	71Kg/m2

Cubiertas

El sistema puede ser aplicado en cubiertas que tengan una capacidad de carga mayor a 71Kg/m2, más el coeficiente de seguridad aplicable. La vegetación se desplantará en charolas perimetrales a la azotea.

Muros

7.7.2.1. Edificios mayores a 5 m de altura

Para muro, el sistema requiere que se coloque una charola de sustrato por cada 4 m² de muro. Cada charola mide 1m x 0.60 m x 0.25 m y contiene un volumen de sustrato de 0.12 m³. De los que el 60% es tierra y el otro 40% es grava de tepojal (preferentemente) o tezontle. Para este cálculo se considera la tierra compacta mojada con un peso de 1,600 Kg/m³. para la grava se considera la más pesada que es el tezontle, con 1,300 Kg/m³.

Por lo que tenemos un peso total de la charola con sustrato de 177.6 Kg/m³ a cada 4 metro cuadrados de muro vegetal, por lo que a cada m² corresponde $177.6/4 = 44.5$ Kg/m² más 60Kg de plantas considerando un muro de 3 capas de vegetación, que nos arrojarán 104.5 Kg/m² transferidos a los apoyos.

7.7.2.2. Edificios menores a 5 m de altura

Las charolas se suprimen, y la vegetación se planta directamente sobre jardinera adosada al edificio, y el peso que se aporta es el de las 3 capas de vegetación que es de 60 Kg/m², transferibles a la estructura portante del edificio. En caso de requerir estructuración, se puede resolver con una exoestructura que no intervenga la actual existente.

7.6. Costos del Sistema

Una de las limitantes que encontramos en la aplicación de los sistemas actuales de naturación es el costo inicial que implican. De acuerdo con el Ing. Alejandro Ramírez (2010), naturar una azotea tiene un costo paramétrico de \$1,200.00/m², más el tipo de vegetación que se elija, en sistema extensivo, considerando materiales y mano de obra. Tomando en cuenta que el edificio no requiera ser reestructurado, y en el caso que lo necesitara habría que sumar el costo que arroja.

Las membranas que se incorporan al sistema aligerado, integrando sus precios unitarios arrojan un costo de \$169.00/m² para muro en aplicación en edificio menor a 5 m de altura y desplante de vegetación a tierra perimetral (Tabla 8.11). Aumenta \$150.50/m² pesos si en cubierta se integra una membrana pavidren. Igualmente a este precio se debe sumar el de la vegetación que puede variar entre cero pesos, al conseguirse en donación o reproducirse de esquejes adquiridos, o hasta \$80.00 por esqueje de 80 cm que es el precio que registramos en el mercado de plantas de Xochimilco – Cuemanco. Consideramos que es un precio desorbitado, pero que aprovechan los comerciantes al ser una planta poco demandada. En el caso del modelo que nosotros utilizamos, obtuvimos donados 30 individuos, de los que se han podido reproducir por vía de esquejes otros más.

Tabla 7.6. Precio unitario de elementos en el sistema Aligerado de Naturación

Concepto	Membrana PVC	Membrana Poliéster	Malla de Polipropileno	Membrana de Coco	Tierra/Jaltete prop. 60:40	Dren Prefabricado	Planta
Precio \$/m ² m.n.	75.00	15.00	36.00	37.00	6.00	150.50	Variable

Para el modelo que nosotros utilizamos en las mediciones en cubierta se incorporaron todas las membranas mencionadas y el pavidren, que nos arrojan un costo de \$319.00. En una cubierta típica sumaremos el costo de las charolas para desplantar la vegetación desde un faldón perimetral hacia la cumbrera, que hechas con perfil tubular cuadrado de 1" x 1", lámina galvanizada forrada en su interior con membrana de pvc, cotizado con herrero, y tomando en cuenta que se usa una charola a cada 5 m² de techo naturado nos arroja un costo de \$200.00/m². Integrando el sistema tenemos un costo de \$519.00 m.n. de esta manera el costo podrá variar entre los \$319.00 y los \$519.00 pesos más la mano de obra que puede igualarse al precio de instalación de un material prefabricado que es de \$80.00/ m², dando en el caso más elevado un costo final de \$589.00 pesos mexicanos. Equivalente al 49% del costo del sistema extensivo. Igualmente la mano de obra puede no aportar costo en caso de bricolaje, lo que bajará aún más el monto. Se debe tomar en cuenta que en el caso de que un sistema tradicional requiera reestructuración del edificio, el precio aumentará.

En el caso de los precios presentados, se han considerado materiales industrializados que mediante técnicas de autoconstrucción se pueden sustituir por materiales reciclados o similares que den las funciones descritas para cada material. El costo de la planta como se mencionó puede ser cero, considerando una primera dotación de planta de donde se reproduzcan las demás que se utilizarán, y tomando en cuenta que la velocidad de crecimiento que registramos en las plantas utilizadas es aproximadamente de 17 cm por mes, que nos estará dando una cobertura de 5 m en 29.5 meses, que son 2 años y medio. Hablando del tiempo de establecimiento de la planta y así del sistema, se encuentra también como una de las limitantes del sistema para tener de manera inmediata las aportaciones aquí referidas, que es lento en relación a un material prefabricado, pero súmamente rápido en relación a otras plantas, sobre todo cactáceas.

7.8. Riego

Las plantas que se utilizaron para el trabajo presentado se tuvieron con un consumo de 2 ℓ/ semana a cada 6 plantas de 1.5 m lin de talla, que transportado este valor a un m² de cubierta naturada equivale a 6 ℓ /m² semanales. Comparado por ejemplo con una cubierta verde en base a pasto, que tiene un consumo promedio de 6 mm al día o 6 ℓ /m² al día, el consumo de agua del sistema aligerado es del 14.3%. En época de mayor huedad y sobre todo lluvia, la planta no requiere de riego.

7.9. CONCLUSIONES

- Los niveles de RFA de la Ciudad de México y los requeridos por la Pitahaya, son compatibles, tomando en cuenta que para cubiertas planas e inclinadas con desarrollo de cumbrera oriente - poniente, se debe sombrear en un 30%, con las estrategias arriba mencionadas para este fin.
- La naturación de muros y cubiertas con este sistema aporta asimilación directa de CO_2 , que para tener mayores impactos debe llevarse a escala urbana.
- Naturar con Pitahaya aporta un beneficio adicional que completa un círculo virtuoso de la vegetación urbana, ya que debido a su metabolismo CAM produce oxígeno y asimila CO_2 durante la noche, mientras las demás plantas y árboles consumen oxígeno y emiten CO_2 al ambiente. Igualmente, mientras haya más CO_2 en el ambiente, más produce oxígeno.
- El sistema aligerado de naturación propuesto, se incorpora a las envolventes de edificios sin agredir los elementos de su envolvente.
- El sistema aligerado de naturación es admitido por edificios de baja capacidad de carga, y reduce hasta en un 50% el peso del sistema extensivo de naturación más ligero hoy existente.
- Este sistema es aplicable a geometrías complejas, compuestas, techos y muros con pendientes pronunciadas.
- Igualmente es un sistema más barato que los existentes en por lo menos 50%, y mediante la búsqueda de materiales de reuso o reciclaje y un proceso de autoconstrucción los costos pueden llegar a ser mucho menores, y por esto accesibles a sectores populares de bajos recursos.
- El sistema de Naturación Aligerado cubre el efecto de sombreado requerido según la Carta Bioclimática para entrar en confort todo el año.
- El sistema de Naturación Aligerado aumenta la eficiencia de los sistemas de acondicionamiento pasivo al reducir la distancia entre la Zona de Calentamiento Activo y la de Calentamiento Activo, cuya diferencia en la Carta Psicrométrica es de 2.5°C , cuando la naturación contribuyó a evitar la pérdida de calor de 1 a 2°C durante la noche.
- El sistema de Naturación Aligerado puede cubrir las funciones de la Masa Térmica de verano en losa para mitigar el sobrecalentamiento en marzo y abril. Y de Enfriamiento Evaporativo Directo para mitigar sobrecalentamiento en mayo.
- Debido a que el Sistema de Naturación Aligerado es mucho más eficiente para evitar sobrecalentamiento en edificios de envolventes ligeras, podría ser utilizado de manera directa, sin complementos de Masa térmica ni ganancias solares en edificios de uso diurno y con ganancias térmica internas como talleres, industrias, comercios, que no requieren calor nocturno. Sin embargo, sólo el análisis térmico detallado de cada caso dirá en qué medida.

CAPÍTULO

8

CONCLUSIONES FINALES

ÍNDICE DE CONCLUSIONES FINALES

- 8.1. Uso
- 8.2. Campo de aplicación
- 8.3. Medio Ambiente
 - 8.3.1. Áreas verdes
 - 8.3.2. Agua
 - 8.3.3. CO₂
 - 8.3.4. Isla de calor
- 8.4. Peso del sistema
- 8.5. Materiales ligeros
- 8.6. Políticas públicas y financiamiento
- 8.7. Potencial del muro vegetal
- 8.8. Diseño de un sistema de naturación apropiado
- 8.9. Aportaciones térmicas
- 8.10. Desempeño energético
- 8.11. Ahorro monetario
- 8.12. Popularización del sistema
- 8.13. Propuestas
 - 8.13.1. Recomendaciones

8.1. **Uso**

- Es poco el uso que hacemos en México y en el Distrito Federal de los techos y muros verdes. Comparados con países como Alemania tenemos apenas un 7% de los casi 15 millones de metros cuadrados que han logrado implementar, aun cuando la cantidad de metros cuadrados naturados que tenemos en la ciudad representa en 90% de los que hay en el país, y esta misma cantidad nos basta para ser el país con mayor cantidad de áreas naturadas de Latinoamérica.
- Los impactos cuantificados, tanto térmicos y ambientales como monetarios de las cubiertas y muros verdes, son temas desconocidos por proveedores, desarrolladores inmobiliarios y algunos gobiernos como el del D. F. que los impulsan, por lo que la difusión de su uso se sigue percibiendo como un tema accesorio.
- Los sistemas que se venden y se usan hoy en México, son importados, evaluados y certificados en condiciones distintas a las de nuestra región. Es necesario que se avance en la evaluación de los mismos y preferentemente en la producción de nuestros propios sistemas de naturación, tomando en cuenta nuestro gran potencial vegetal y su uso regionalizado.
- Actualmente el sector popular no natura. Salvo algunos esfuerzos del Gobierno del D. F. con programas de naturación de unidades habitacionales, el sector popular es ajeno a estos sistemas constructivos. Los ejemplos de techos y muros verdes que encontramos se encuentran en edificios corporativos, gubernamentales o institucionales. Esto se debe a los altos costos iniciales, y a la falta de información técnica accesible.

8.2. **Campo de aplicación del sistema**

- Existen al menos 262,164 en el D. F. y 4,737 m² de cubiertas de lámina alrededor de la UAM Azcapotzalco, así como gran cantidad de edificios de materiales ligeros y cubiertas de lámina en el D. F. que actualmente no pueden ser naturados por su baja capacidad de carga. Este sector se convierte en el potencial receptor de un Sistema de Naturación Aligerado.

8.3. **Medio Ambiente**

- La Ciudad de México se encuentra actualmente en la peor fase histórica de una crisis ambiental que desde los 80 se ha venido agudizando. A pesar del daño ambiental que hemos provocado, podemos intervenir en este momento con muchas estrategias que nos permitan recuperar una buena calidad ambiental. Con base en lo analizado en este documento, una de las herramientas para lograrlo es la naturación de los núcleos densamente poblados, con vegetación nativa de cada zona de la ciudad.

8.3.1. Áreas Verdes

- La Ciudad de México cumple con los mínimos estadísticos recomendados por la ONU y la OMS de áreas verdes por habitante, si embargo en este trabajo encontramos que uno de los grandes problemas de fondo es la cercanía que puedan tener con los habitantes, pues la aportación de oxígeno será significativa sólo si están cerca de quienes lo pueden aprovechar, antes de que se intercambie y se movilice en la atmósfera. Incorporar envolventes verdes a las edificaciones, permite generar áreas verdes donde el espacio urbano está construido, acercando la vegetación a las personas.

8.3.2. Agua

- La disposición de agua en la ZMVM es el mayor de sus problemas, que a su vez detona una larga espiral de efectos y consecuencias lesivas al medio ambiente y sus habitantes. El uso de especies vegetales de alto consumo hídrico puede crear competencia por el líquido. Como se analizó, las áreas verdes domésticas son regadas con agua potable, por lo que se requieren dos acciones estratégicas para evitar que la vegetación quite el agua al consumo humano y detone perjuicios a la ciudad en este tema: 1). incorporar vegetación de bajo consumo hídrico; y 2). Complementar de manera urgente la colecta de agua de lluvia a los conjuntos urbanos, así como el tratamiento de aguas residuales, promovido por autoridades de los tres niveles de gobierno y la participación social.

- La Pitahaya es una planta que puede vivir bajo condiciones de bajo consumo hídrico, por lo que su establecimiento reducirá consumo de agua a favor del consumo humano. Comparado con una cubierta verde de pasto que es un dato conocido, consume sólo el 14%.

8.3.3. CO₂

- La ciudad de México produce niveles muy altos de contaminantes. Dentro de la ciudad, Azcapotzalco es una de las zonas con más producción de GEI y dentro de estos el CO₂.

- Actualmente hay muy poca información específica de la asimilación de CO₂ – producción de oxígeno que aportan especies vegetales que conforma los parques urbanos, por esto no se pueden hacer estimaciones de su impacto y dificulta establecer metas reales a cubrir.

- En el presente trabajo se determinó que el Sistema de Naturación Aligerado aquí propuesto contribuye a evitar la emisión del 13% de CO₂ al ambiente en un espacio con cubierta de concreto, y del 33% de CO₂ al ambiente de un espacio con cubierta de lámina; esto de manera indirecta por ahorros energéticos en climatización artificial.

- En el presente trabajo se determinó que el Sistema de Naturación Aligerado aquí propuesto contribuye de manera directa a la asimilación de 15.75 ton/año CO₂ por cada hectárea naturada.

8.3.4. Isla de Calor

- En las evaluaciones térmicas desarrolladas en el presente trabajo concluimos que en el desempeño anual de una cubierta naturada con pitahaya admite has un 34% menos energía calorífica. En las zonas urbanas donde se consiga naturar habrá una importante contribución a mitigar el efecto de isla de calor.
- Lo impactos negativos de la isla de calor tienen efecto directo sobre el confort de los usuarios de la ciudad, pero sobre todo sobre el cambio de los climas regionales del que dependen sus comunidades vegetales y animales, por lo que es imprescindible mitigar las zonas con islas de calor. La naturación de edificios es una estrategia adecuada para lograrlo.

8.4. Peso del sistema

- Una de las limitante que frena la iniciativa de naturar edificios por parte de algunos usuarios, es la capacidad de carga de sus inmuebles. El Sistema de Naturación Aligerado reduce en un 50% el peso del sistema extensivo más ligero que existe actualmente en el mercado. Por esto, las edificaciones que hoy están fuera de posibilidad de ser naturados, se podrán integrar al reverdecimiento de la Ciudad.

8.5. Materiales ligeros

- En la actualidad, los sistemas constructivos se inclinan cada vez más por los materiles ligeros, y en esta dinámica dominarán cada vez más todos los sectores de la construcción. Estos son materiales que tienen un comportamiento térmico menos favorable que los materiales masivos, por esto requieren de más opciones de mejoramiento en su desempeño, y por su baja capacidad de carga, necesitan un sistema aligerado, que pudiera ser el aquí analizado. En el presente trabajo se demostró que la aplicación del Sistema Aligerado se mejorara el depempeño térmico de los materales ligeros; Además de que su incorporación no los agrede ni debilita.

8.6. Políticas Públicas y Financiamiento

- Existen ya algunas políticas públicas que incentivan la implementación de envolventes verdes en el Distrito Federal que de manera concreta estimula con beneficios fiscales a quienes las incluyan en sus edificaciones. Igualmente se tiene ya en el D. F. una Norma Ambiental que regula los aspectos constructivos de tres sistemas, quedando aún pendiente el reconocimiento de los otros beneficios térmicos y ambientales cuantificables y sobre todo un programa efectivo de créditos accesibles y universales.
- A nivel federal no encontramos ninguna política de promoción directa y efectiva de las azoteas verdes y muros vegetales. Y dado el costo inicial que estos sistemas pueden requerir, el instrumento indispensable para su establecimiento es el crédito gubernamental accesible y sin fin de lucro. Es el mismo caso de otros sistemas pasivos y ecotécnicas aplicables a casa habitación, que están pendientes de ser atendidas por los gobiernos federal y locales. Mencionamos como ejemplo paradigmático el caso de los paneles fotovoltaicos que cuentan en Alemania con subvenciones gubernamentales con el 0% de

interés por el total de la instalación, además de la exención del pago del último año de crédito. En contraste, en nuestro país contamos con la Ley para el Aprovechamiento de las Fuentes Renovables de Energía, que en 2008 fue publicada por el ejecutivo en el Diario Oficial de la Federación, y en 2009 fue publicado el Reglamento para la aplicación de esta misma Ley, que contempla el financiamiento de la transición energética del país para que los grandes productores adopten paulatinamente bases de producción de energía limpia, pero el financiamiento accesible al particular no se clarifica, por lo que al sector doméstico se le sigue viendo como un simple cliente o comprador de energía, cuando el compromiso con el ambiente sano requiere que a través del crédito gubernamental barato, cada quien pueda producir su energía. Mientras tanto, se le da un impulso histórico y controvertido -al ser contrario a nuestra Carta Magna- a la producción privatizada de energía eléctrica por vía de la CFE, con la misma lógica de producción basada en hidrocarburos.

8.7. Potencial del Muro Vegetal

La ciudad de México seguirá vertiginosamente en población y en áreas urbanas. Su crecimiento es cada vez más en edificación vertical. Esta condición hace que se vuelva mucho más potencial el reverdecimiento de nuestra ciudad basado en los muros que en sus azoteas. Paralelamente, Debemos también masificar el uso de tecnologías solares para generación de electricidad con paneles fotovoltaicos, y calentamiento de agua, lo que hará de las azoteas un espacio muy competido, donde probablemente las azoteas verdes sean desplazadas, y por esto vemos en el muro verde, gran potencial dentro de una ciudad densificada, con desarrollo vertical, probablemente con el dominio del rascacielos ecológico. Precisamente en estos sectores altamente densificados de la ciudad, es donde nos pudimos se precisan con más urgencia los servicios ambientales que provee la vegetación.

8.8. Diseño de un Sistema de Naturación Apropiado

- Mediante el análisis de las condiciones climáticas de la Ciudad de México, de las características agronómicas y propiedades físicas de la Pitahaya, se determinó que es viable establecer un sistema de naturación adecuado para ser integrado en envolventes arquitectónicas, que a su vez salva gran parte de las dificultades que enfrenta la vegetación en nuestra ciudad, tales como escasez de agua, resistencia a la contaminación y bajo mantenimiento.
- El conocimiento de los requerimientos de crecimiento de la Pitahaya sirvió de base para que el sistema le aporte a la planta condiciones favorables, lo que debe tenerse en cuenta para el diseño de otros sistemas de naturación, pues frecuente pensar en lo que se requiere que la planta aporte a la envolvente arquitectónica, pero hay que pensar igualmente en lo que la planta requiere de ésta para establecerse adecuadamente.

8.9. Aportaciones térmicas

- Se registró que la superficie naturada en un cubo térmico redujo la admisión de calor al interior, aún sin estar expuesto a radiación de onda corta directa, lo que indica que el mejoramiento térmico rebasa el sólo efecto por sombreado. Asimismo medir una superficie naturada al norte en junio permitió observar que una superficie de lámina llega a admitir

temperaturas mayores a 35°C y con una capa sencilla de vegetación se redujo hasta en 6°C esta magnitud.

- Se comprobó que la modelación de un sistema en un Energy Plus, con valores térmicos adecuados, puede arrojar resultados distintos a los de un modelo en sitio. Por esto es necesario hacer su contraste con un modelo físico real para obtener resultados confiables de su comportamiento.
- Este trabajo aporta los valores físicos de masa y térmicos de la Pitahaya así como su calibración virtual, que dieron base a las mediciones realizadas y quedan disponibles para posteriores trabajos de investigación y diseño bioclimático.
- La incorporación del Sistema de Naturación Aligerado mejora el comportamiento de sistemas constructivos cuyo valor de transferencia térmica “U” es alto.
- La aplicación del Sistema de Naturación Aligerado mejoró el comportamiento térmico de una cubierta de concreto y de una de lámina. Mitiga con mucha más eficacia el sobrecalentamiento diurno del espacio interior, a la vez que reduce también la pérdida de calor durante la noche.
- La naturación reduce significativamente la oscilación diaria de temperaturas hasta en 18°C en el mes de mayo y logra acercar las temperaturas diurnas y nocturnas a la zona de confort mensual, aun cuando no entran en confort y se sigue requiriendo complementar este sistema con otras técnicas pasivas para conseguir el confort interior en edificios que no han sido proyectados y construidos con métodos bioclimáticos.
- Se comprobó para el modelo de lámina, mediante el análisis dinámico que el calor que se deja de admitir en el interior del espacio corresponde para el mes de abril a las 14:00 hrs a un 29% con la naturación. A la vez que en el modelo estático permitió establecer que incorporando vegetación a la lámina, tuvo mejor comportamiento incluso que la cubierta de concreto simple, para el 21 de abril a las 14:00 hrs.
- La aplicación del sistema de Naturación al modelo de casa analizado, tanto con cubierta de concreto, como de lámina, no es suficiente para hacer entrar en confort el espacio, por lo que se deben implementar otras estrategias de diseño bioclimático, ya sea correctivo en edificios preexistentes o de origen en proyectos nuevos.
- Este trabajo aporta una estrategia más para dar confort a los espacios interiores. En el caso analizado se demostró que el Sistema de Naturación Aligerado cubre algunas de las necesidades indicadas por los métodos de Mahoney, Carta Bioclimática y Psicrométrica. Asimismo se demuestra que las demás necesidades que no cubre este sistema pueden ser compatibles con el mismo, mediante el diseño adecuado e implementación de estrategias y técnicas. Especialmente la Ganancia solar.
- La Masa Térmica se marca en todos los métodos como un requerimiento para obtener confort, y es de origen contrario a las características de los materiales ligeros. Para cubrir esta necesidad deben incorporarse elementos de almacenamiento calorífico independientes

a la envolvente, y se debe recurrir al apoyo del aislamiento. La medida para hacerlo la dará únicamente el diseño y análisis térmico detallado de caso.

- Deben tomarse los resultados del actual caso de análisis, como información que da base a los análisis de diseño posteriores, pero no son recetas transportables a cualquier caso particular. En el desempeño térmico de cada edificio las condiciones son únicas y distintas.

8.10. Desempeño energético

- Mediante la aplicación del sistema de naturación se consigue un ahorro en gasto de electricidad del 91% para el caso de concreto y del 95% para el caso de lámina, por enfriamiento mecánico en base a electricidad para hacer entrar en confort el espacio. Que se traducen en ahorro monetario y reducción de emisiones de GEI.
- Mediante la aplicación del sistema de naturación se consigue un ahorro en gasto de gas del 38% para el caso de concreto y del 24% para el caso de lámina, por calentamiento mecánico en base a gas para hacer entrar en confort el espacio. Que se traducen en ahorro monetario y reducción de emisiones de GEI.

8.11. Ahorro monetario

- Además del confort de un espacio, los usuarios de los sistemas de naturación perciben sus beneficios a través de los ahorros directos en su economía. Son perceptibles de manera directa por ahorro en impermeabilización. Para los sistemas que hay actualmente en el mercado, está pendiente la evaluación de los impactos económicos por beneficios térmicos, ahorro energético y salud humana. Con estos datos el usuario tendrá más razones tangibles para naturar.
- En el presente estudio se determinan los rubros que arrojan ahorros a quienes implementen el sistema de naturación aligerado:
 - Se evita restructuración para instalar.
 - Cuesta el 50% del sistema más barato hoy existente.
 - Aporta ahorros en gasto de electricidad y gas por acondicionamiento mecánico.
 - Reduce gastos en impermeabilización.
 - Ahorra agua que impacta al medio ambiente y al pago del servicio.
 - Mejora el confort humano, con esto la salud del usuario, y con esto gastos médicos.
 - Su uso traerá reducción de gastos al Sector Público de Salud.

8.12. Popularización del sistema aligerado

- Al reducirse los costos para naturar, y al reducir el peso del sistema, será mucho más viable que el sector popular incorpore sus casas a la naturación urbana. Igualmente los sectores Industriales, de servicios gubernamentales y comerciales.

Los análisis realizados y los impactos que se arrojan, fueron hechos sobre un modelo de casa de dimensiones pequeñas y se debe tener siempre como una meta lograr que estos sistemas, con los efectos positivos que aportan, se lleven a escala urbana y se incorporen a las políticas públicas, reglamentos, programas de financiamiento y programas de enseñanza y difusión para lograr la ampliación de los efectos sobre el confort, la salud humana, el equilibrio ambiental y la economía de nuestra sociedad.

8.13. PROPUESTAS

- Se propone que el Gobierno del Distrito Federal a través de su Secretaría del Medio Ambiente establezca un programa y convenio permanente de apoyos a universidades públicas de la Ciudad de México para investigar las Tasas de Intercambio de CO₂ de las plantas recomendadas para la naturación urbana en el D. F. en su norma NADF-006-RNAT-2004 (2006), y que los resultados de estas investigaciones se integren y publiquen como parte de la misma norma.

8.14. RECOMENDACIONES

- Se debe dar seguimiento a la presente línea de investigación para incorporar más variedad de plantas al este Sistema de Naturación Aligerado y tener una paleta vegetal más amplia y rica en composición estética, y contribuir mejor a la diversificación vegetal de los espacios verdes de la ciudad, que es reconocido como una de las necesidades de los entornos ecológicos deteriorados, así como para seguir conociendo especies que ofrezcan más ventajas y cada vez menores desventajas al incorporarse a los edificios.
- Se recomienda al el Gobierno del Distrito Federal, a través de su Secretaría del Medio Ambiente, que establezca un programa y convenio permanente de apoyos en investigación a universidades públicas de la Ciudad de México para establecer los impactos Térmicos y Energéticos de los diferentes sistemas de naturación de envolventes, incluido el Sistema de Naturación Aligerado. y que los resultados de estas investigaciones se integren y publiquen en una **Norma Ambiental**.
- Se recomienda que el Gobierno del Distrito Federal, a través de sus Secretarías del Medio Ambiente y de Finanzas, establezca un programa y convenio permanente de apoyos en investigación a universidades públicas de la Ciudad de México para establecer los impactos Térmicos y Energéticos de los diferentes sistemas de naturación de envolventes, incluido el Sistema de Naturación Aligerado. y que que estos parámetros de impacto Térmico y Energético en los edificios se traduzcan en porcentajes diferenciados de beneficios fiscales y tributarios en el **Código Financiero del Distrito Federal**.
- Se recomienda promover en las universidades estudios multidisciplinarios que estimen los impactos de los sistemas de naturación, donde se determine de manera detallada sus beneficios: Bioclimáticos, Ambientales, Térmicos, Energéticos, de Calidad de Aire, Económicos, Culturales, Sociales, y en general Urbanos.



Flor de la Pitahaya



Fruto de la Pitahaya



Ciudad de México, mayo de 2011



REFERENCIAS

1. AEAAE. (2007). Guía metodológica para el uso de tecnologías ahorradoras de energía y agua en las viviendas de interés social en México. Asociación de Empresas para el Ahorro de la Energía en la Edificación, AC. México. Ingresada en 2011 en: http://www.infonavit.org.mx/infonavit_ampliado/oferentes/vivienda_ecologica/Cuadernillo.pdf
2. Amador T, J. (2003). Desequilibrios en la lista del patrimonio mundial de la Unesco. para la Revista Proceso Febrero 23, 2003. México. En: www.proceso.com.mx/rv/modHome/pdfExclusiva/20333.
3. AMENA. (2010). Galería de Naturación de Azoteas. Asociación Mexicana para la Naturación de Azoteas. México. Accesado en noviembre de 2010 en: <http://www.amenamex.org>
4. Arcotecho. (2010) Manual Constructivo, Fichas técnicas. México. En <http://www.arcotecho.com.mx/>.
5. AZ. (2010). The A to Z of Materials and AZojomo, The "AZo Journal of Materials Online", Materials - Information Web Site. Warriewood, New South Wales. Australia. en: <http://www.azom.com/details.asp%3FArticleID%3D2047>.
6. Bárcenas et al. (1998). Características agronómicas de la pitahaya (*Hylocereus spp.*). CONACYT, UAM. D. F. México.
7. Boyer, R (2005). Edificación vikinga con techumbre naturada en Islandia., La vida cotidiana de los vikingos (800 - 1050), ed. Traducida a cargo de José de Olañeta, ed.Mallorca, Madrid, España.
8. Bravo-Hollis H., H. (1978). Las cactáceas en México. UNAM. México.
9. CALELC. (2010). Catálogo de productos y Especificaciones CALELEC HEATING. Calefacción Eléctrica, S.A. Monterrey, N.L. México.
10. Calix de D.H. (1996). Aspectos taxonómicos de la Pitahaya, Primer curso teórico práctico sobre el Cultivo de la pitahaya, [Memorias] p. 35-48. Universidad de Quintana Roo, Quintana Roo, México.
11. Camous R. y Watson D. (1986). El hábitat bioclimático. Gustavo Gili. D. F., México.
12. Cartagena V, J. (2008). El agua en las plantas. En la Revista Agronomía Colombiana, Vol. 26 (2) Colombia. Consultado en 2010 en: <http://agronomia.unal.edu.co/>.
13. CDHDF (2008). Informe Especial sobre Seguridad Humana en la Ciudad de México 2006-2008. Comisión de Derechos Humanos del Distrito Federal. D. F. México.
14. CDHDF [2]. (2008). Informe Especial sobre el Derecho Humano a un Ambiente Sano y la Calidad del Aire en la Ciudad de México 2008. Comisión de Derecho Humanos del D. F. México.
15. Ceballos G, y Galindo C. (1984). Mamíferos silvestres de la Cuenca de México, MAB-UNESCO. Limusa. México.
16. CES. (2010). Energy & Wetlands Research. Centre for Ecological Sciences, Indian Institute of Sciences. Bangalore. Accesado en enero de 2010. India. En: <http://ces.iisc.ernet.in/energy/>
17. CFDF. (2006). Código Financiero del Distrito Federal. Artículos 293 y 294. Gaceta Oficial del Distrito Federal, publicada en diciembre de 2006. D. F. México.
18. Cherem. (2010). Catálogo de obras, Cherem Arquitectos. México. en: <http://www.cheremserrano.com/>

19. Ciencia y Biología (2010). Radiación. Revista Ciencia y Biología. México. En: <http://www.cienciaybiologia.com/ecologia/radiacion.htm>
20. CMIC (2005). Indicadores Estatales de la Construcción del Distrito Federal 2005. CMIC. D. F. México.
21. CONAGUA. (2008). Estadísticas del Agua en México. CONAGUA- SEMARNAT. D. F. México.
22. CONABIO. (2010). ¿Qué es un país megadiverso? Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad Mexicana. Accesado en 2010. En: <http://www.biodiversidad.gob.mx/pais/quees.html>
23. COPODF (2000). Población, vivienda y agua en la Ciudad de México año 2000. GDF. D. F. México.
24. CORENA. (2010). Inventario áreas verdes urbanas. Comisión de Recursos Naturales. Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal. D. F. México.
25. CORENA. (2011). Presentación institucional. Comisión de Recursos Naturales. SMADF. Ingresado en abril de 2011. En: <http://www.sma.df.gob.mx/corena/>
26. DDF. (1975). Historia del desagüe de la Cuenca, Memoria de las obras del sistema de drenaje profundo del Distrito Federal Departamento del Distrito Federal. , Tomo I. Departamento del Distrito Federal. México.
27. DDF. (1986). Manual de planeación, diseño y manejo de las áreas verdes urbanas del Distrito Federal. Departamento del Distrito Federal. México.
28. DGCOH (1985). Actividades geohidrológicas en el valle de Toluca. Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica. DDF. Lesser y Asociados. D. F. México.
29. Doug, B. (2005), Report on the Environmental Benefits and Costs of Green Roof Technology for the City of Toronto, Dept. of Architectural Science, Ryerson University. Toronto, Canada.
30. Econstrucción. (2011). Catálogo promocional de azoteas verdes., en <http://www.econstruccion.com.mx/verde03.html>
31. Edwards, B. (2008). Guía básica de la Sostenibilidad. Gustavo Gili. Barcelona. España.
32. ELT. (2010). Catálogo de productos y servicios. Elevate Living Technologies Easy Green. Brantford ON Canada. en: <http://www.eltlivingwalls.com/>
33. Ezcurra, Excequiél. (1990). De las chinampas a la Megalópolis, El medio ambiente en la Cuenca de México. Fondo de Cultura Económica. México.
34. FCUNLP. (2009). Informe Toxitológico. Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional de la Plata, Argentina. Acceso en 2010 en: http://www.biol.unlp.edu.ar/toxicologia/seminarios/parte_1/monoxido_carbono.html
35. Figueroa C, A. et al. (2011). Desarrollo y validación de una metodología para estimar los impactos en el ahorro de energía por el uso de sistemas pasivo-constructivos en la edificación para diferentes climas de México. Fondo SENER- CONACyT Sustentabilidad Energética. México.
36. García, E. (1988). Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. Talleres de Offset Larios, S.A. , Mexico. D.F. 1988
37. García Ch, J. y Fuentes F, V. (2000). Arquitectura y medio ambiente en la Ciudad de México. UAM Azcapotzalco, D. F., México.

38. García Ch, J. (2009) Evaluación de cubiertas verdes para confort térmico y ahorro de energía Caso de Estudio Museo de Historia Natural [Artículo dentro de la XXXIII Semana Nacional de Energía Solar]. ANES, México.
39. GASG. (2010). Documento Azoteas Verdes. Grupo Ambientalista Sierra de Guadalupe, A.C. México. Accesado en 2010 En: <http://www.sierraguadalupe.org.mx/azoteasverdes.html>.
40. GDF (2008). La calidad del aire en la zona metropolitana del valle de México 1986-2006. GDF. México.
41. GF. (2010). Catálogo de proveedores. Green Fortune. Estocolmo, Suecia. en: <http://www.greenfortune.com/plantwall.php>
42. GLT. (2010). Catálogo de productos. Green Living Technologies. Detroit, Michigan. E. U. en: <http://www.agreenroof.com/page18.html>
43. GMC. (2010). Catálogo de obras. Gaviones y muros de Contención, SL. España. en: <http://www.murotalud.com>
44. Gomes da S, V. (2010). Códigos internacionales de construcción [Ponencia, como parte del seminario Experiencia Internacional en Normatividad Ambiental para la Arquitectura]. Universidad de Colima, México.
45. Gómez S.V. (2004). Cubiertas forestales y respuesta microclimática. Departamento de Silvopascicultura, EUIT Forestal, Madrid, España.
46. Goodfellow. (2010). Goodfellow Catálogo on line. Goodfellow Cambridge Limited, Inglaterra, 2010. En: <http://www.goodfellow.com/S/Polipropileno.html>
47. GPM. (2010). Catálogo de productos y servicios. Geo Productos Mexicanos. D. F. México.
48. GPSI. (2010). Productos y servicios on line. Gsky Plant Systems Inc. en: <http://www.agreenroof.com/>
49. Hortilux. (2010). Investigación en Luminotecnia. Hortilux Schröder. Holanda. En <http://www.hortilux.nl>
50. INAFED. (2010). Enciclopedia de los municipios de México, SEGOB. México. En: <http://www.inafed.gob.mx/work/templates/enciclo/mexico/mpios/15058a.htm>
51. INEGI. (2005). XII Censo General de Población y Vivienda 2000, y II Conteo de Población y Vivienda 2005.
52. INEGI (2010) cuaderno estadístico de la Zona Metropolitana del Valle de México 2010. Ingresado en abril de 2011 en: <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/espanol/sistemas/CEZM10/estatal/default.htm>
53. Inforjardin. (2010). "El Muro vegetal de Patrik Blanc", Muros vegetales. Revista Infojardín. Accesado en octubre de 2010 de en: http://www.infojardin.net/foro_jardineria/viewtopic.php?t=48497
54. INVI. (2010) Programa de vivienda sustentable. Instituto de Vivienda del Distrito Federal. GDF. En accesado en marzo de 2011, en <http://www.invi.df.gob.mx/portal/sustentable.aspx>
55. Jaramillo, V. (2010). El ciclo global de carbono. Instituto Nacional de Ecología. México. En: <http://www2.ine.gob.mx/publicaciones/libros/437/jaramillo.html>
56. Kolb, W y Schwarz, T (1999), Dachbegrünung intensiv und extensiv, Stuttgart, Germany.
57. Kramer, P J. (1974). Relaciones hídricas de suelos y plantas, una síntesis moderna. EDUTEX. México.
58. Krieger, P. (2007). Acuápolis, temas y problemas. Universidad Nacional Autónoma de México,

59. Lacomba, R. y Fuentes F, V. et al. (1991) Manual de Arquitectura Solar "Arquitectura y Energía – Control térmico de edificaciones". Trillas. D.F. México.
60. Miliarium. (2004) Propiedades térmicas de los materiales. Miliarium Aureum, S.L. Madrid, España. En: <http://www.miliarium.com/prontuario/Tablas/Quimica/PropiedadesTermicas.htm>
61. Minke, G. (2005). Tectos verdes. Planificación, ejecución, consejos prácticos. Traducción del alemán: Denize Enlz y Lagiotta. Editorial Fin de Siglo. Montevideo, Uruguay.
62. Montero C.D. (2009). Innovación tecnológica, cultura y gestión del agua, Nuevos retos del agua en el Valle de México. Porrúa, UAM. D. F., México.
63. National Academy Press (1995), Mexico City Water Supply. National Research Council, Academia Nacional de la Investigación Científica, A.C., Academia Nacional de Ingeniería, A.C. en: <http://www.nap.edu/> (2010).
64. OMS. (2010). Estadísticas poblacionales. Organización Mundial de la Salud. en: <http://www.oms.org>;
65. ONU (2009). Demographic Yearbook, Naciones Unidas, División de Población, Washington, D.C. E. U. A.
66. Ortiz H, Y D. (1999). Pitahaya, un nuevo cultivo para México. LIMUSA, IPN. D. F. México.
67. Perló, M. y González A. E. (2005). ¿Guerra por el agua en el Valle de México? UNAM, Fundación Friedrich Ebert. México, D.F.
68. Philippi, P. (2006) How to get cost reduction in green roof construction, Green Roof Service, LLC, [Fourth Annual Greening Rooftops for Sustainable Communities Conference, Awards and Trade Show 6]. Boston. USA.
69. Plan Verde (2010). Habitabilidad y Espacio Público, Estrategias. SMADF. GDF. En: http://www.sma.df.gob.mx/planverde/index.php?option=com_content&view=article&id=50&Itemid=61
70. Plasticbages. (2010). Tablas de características técnicas del PVC. Plastic Bages Industrial, S. L. de Barcelona. España.
71. Puppo, E. y Puppo G. (1972). Acondicionamiento Natural y Arquitectura. Marcombo, Barcelona, España.
72. Ramírez V, R. et al. [eds]. (2000). Recursos Fitogenéticos de México para la Alimentación y la Agricultura, Informe Nacional. Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas y Sociedad Mexicana de Fitogenética A.C. Chapingo, México.
73. Real C, A. (2011). Naturación Urbana, Oportunidad para mitigar emisiones de GEI. En: <http://www.ganar-ganar.com.mx/pdf/44.pdf>
74. RIVERFILCO. (2010). Propiedades de la Fibra de Coco. RIVERFILCO, S.A. Montevideo Uruguay. Accedido en 2010. <http://www.riverfilco.com.uy/>
75. Rodríguez S, L. et al. (2003). Guía de árboles y arbustos de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México, REMUCEAC, GDF, UAM. Distrito Federal, México. Distrito Federal. México.
76. Sánchez R, G. (2004). Guía de investigación para niños interesados en problemas urbanos y en otras cuestiones. UAM Azcapotzalco, Miguel Ángel Porrúa, D. F. México.
77. SD. (2010) Propiedades de la fibra del coco. Sustratos Dominicanos S.A. Accedido en 2010. en: <http://www.sustratosdominicanos.galeon.com/productos1601309.html>

78. SMADF. (2010). Inventario áreas verdes urbanas. Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal y Observatorio Ciudadano de la Ciudad de México. Accesado 2010. En: <http://www.occm.uam.mx/index/index.php?sec=16> y <http://www.sma.df.gob.mx/sma/index.php>;
79. SMN-EAP. (2010). Normales Climatológicas del período 1971-2000, de la Estación 00009020, DESV. ALTA AL PEDREGAL, LATITUD: 19°17'49" N, LONGITUD: 099°10 '56" W. Base de datos del Servicio Meteorológico Nacional. En: <http://smn.conagua.gob.mx/climatologia/normales/>
80. SMN-ENZ. (2010). Normales Climatológicas del período 1971-2000, de la Estación 00015061 NEZAHUALCOYOTL (P. MPAL.), LATITUD: 19°24'57" N., LONGITUD: 099°02'44" W. Base de datos del Servicio Meteorológico Nacional. En: <http://smn.conagua.gob.mx/climatologia/normales/>
80. SMN-EAS. (2010). Normales Climatológicas de la Estación: 00009003 Aquiles Serdán núm. 46, Azcapotzalco, D. F, Servicio Meteorológico Nacional. Período de observación: 1971-2000. En: <http://smn.conagua.gob.mx/climatologia/normales/estacion/df/NORMAL09003.TXT>
81. Szokolay, S. y Docherty. (1999). Cimate Análisis. PLEA, University of Queensland, Australia.
82. Táutiva A. (2000). Estudio de dinámicas poblacionales en zonas con subsidencia en la cuenca de México. Instituto de Geografía de la UNAM. D. F., México.
83. Texsa. (2010). Catálogo de productos y servicios. Texa. S. A. España. en: <http://www.texsa.com/es>
84. UFA. (2010). Benefits of Urban Trees. Urban Forestry Administration del Distrito de Columbia, E. U. en: http://ufa.ddot.dc.gov/ufa/cwp/view,a,1293,q,575501,ufaNav_GID,1631,ufaNav,%7C32699%7C,.asp
85. Urbanarbolismo. (2010). Servicios paisajísticos. Revista Urbanarbolismo. España. en: <http://www.urbanarbolismo.es>
86. Valdés, A L. (2008). Techos verdes, aumento en la plusvalía. CNN Expansión. México. Accesado en 2011 En: http://www.natural.org.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=7:techos-verdes-aumento-en-la-plusvalia&catid=2:article-&Itemid=10
87. Vargas M, Juan. (2010). [Video] Cubiertas verdes, en: <http://www.citytv.com.co/videos/26820/las-terrazas-y-techos-verdes>.
88. Velasco L, A. (2002). El jardín de Iztapalapa. [Artículo]. Revista Arqueología mexicana, VOL. X, núm. 57, Septiembre octubre de 2002. INAH. México.
89. Villacero, S. A. (2010). Especificaciones técnicas de lámina galvanizada acanalada Villacero, S.A de C.V. Monterrey. N. L. México.
90. Wark, K. y Warner, C. (2007). Contaminación del aire, Origen y control. p. 37-138. Limusa. D. F., México.
91. Yeang, K. (2001). El rascacielos ecológico, Gustavo Gili, Barcelona, España.

Planos

1. Google earth, Sanborn, Digital Globe, Spot Image, Geo Eye, 2010.

Entrevistas con proveedores

1. Ing. Alejandro Ramírez. (2010). Director General. Geoproductos Mexicanos, enero de 2010.
2. Lic. Jorge Morales. (2010). Director Comercial Geoproductos Mexicanos,
3. Biol. Jerónimo Reyes. Proveedor y proyectista de azoteas naturadas.

Visitas de campo

1. Jardín Botánico de la UNAM. Azotea de oficinas.
2. Metro Insurgentes. Azotea Naturada.
3. Callejón de 5 de Mayo, Centro Histórico, D. F. Muro vegetal.
4. Unidad Habitacional “La Valenciana”, Iztapalapa, D. F. Muro vegetal.
5. Unidad Habitacional Deportivo Olimpico, Col. Pantitlan, D. F. Muro vegetal.
6. Museo de Historia Natural, Chapultepec, D. F. Azotea Naturada.
7. Metro Insurgentes, D. F.
8. Plaza Tlaxcoaque, Centro Histórico, D. F.

Normatividad

1. NOM-011-ENER-2006 (2007) “Eficiencia Energética en Acondicionadores de Aire tipo Central Paquete o Dividido”, Diario Oficial, México.
2. NADF-013-RNAT-2007 (2006). “Que establece las especificaciones técnicas para la instalación de sistemas de naturación en el distrito federal. S. M. A. Gaceta oficial del Distrito Federal. México.
3. NADF-006-RNAT-2004 (2005). “Que establece los requisitos, criterios, lineamientos y especificaciones técnicas que deben cumplir las autoridades, personas físicas o morales que realicen actividades de fomento, mejoramiento y mantenimiento de áreas verdes públicas”. Gaceta oficial del Distrito Federal. México.
4. NOM-011-ENER-2006 (2006) “Eficiencia energética en edificaciones, envolvente de edificios no residenciales”. Diario Oficial, México.
6. ASTM (2011). Norma ASTM E1225 - 09 “Standard Test Method for Thermal Conductivity of Solids by Means of the Guarded-Comparative-Longitudinal Heat Flow Technique” [Método para determinar la conductividad de materiales sólidos en capas simples o arreglos compuestos de más capas]. ASTM International. Philadelphia. E. U.

Modelos de análisis

1. DSB. (2009). Design Builder Software, Versión 2.2.5.004 2000-2009. [Programa - Intefaz de Energy Plus en análisis energético]. DSB Software Ltd. Reino Unido.
2. DOE. (2009). Energy Plus Software, Versión 4.0.0.024 [Programa de cálculo energético en edificaciones]. U. S. Department of Energy [DOE]. Washington, E. U.
3. Autodesk. (2007). Autocad Software. Versión 2007. Autodesk Inc. California, E. U.
4. Autodesk (2010). Ecotect Software. Versión 2010. Autodesk Inc. California, E. U.
5. MSOffice. (2007). Excel. Micro Soft Corporation. E. U
6. Fuentes F, V. (2000). Balance Térmico. Hoja de cálculo, UAM Azcapotzalco, México.
7. Fuentes F, V. (2008). Diagramas Bioclimáticas. Hoja de cálculo, UAM Azcapotzalco, México.
7. Fuentes F, V. 2. (2000). Datos Climáticos. Hoja de cálculo, UAM Azcapotzalco, México.

ANEXOS

ANEXO 1

CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA DE AZCAPOTZALCO D. F.

fte	PARAMETROS	U	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
TEMPERATURAS															
A	MAXIMA EXTREMA	°C	27.5	28.7	30.5	30.3	30.2	29.5	26.5	26.4	26.3	26.4	25.2	24.8	
A	MAXIMA	°C	23.3	24.7	27.6	28.2	27.8	25.8	24.5	24.6	24.2	24.1	23.9	23.0	25.1
A	MEDIA	°C	14.7	15.9	18.6	19.8	20.2	19.5	18.3	18.4	18.3	17.4	16.1	15.1	17.7
A	MINIMA	°C	6.1	7.2	9.5	11.5	12.5	13.1	12.1	12.3	12.3	10.7	8.4	7.1	10.2
A	MINIMA EXTREMA	°C	4.9	4.6	7.7	9.7	11.1	12.5	8.8	11.5	11.2	8.7	7.1	4.9	4.6
E	OSCILACION	°C	17.2	17.5	18.1	16.7	15.3	12.7	12.4	12.3	11.9	13.4	15.5	15.9	14.9
HUMEDAD															
E	TEMP.BULBO HUMEDO	°C	10.2	10.5	12.2	13.3	14.7	15.4	15.1	15.2	15.2	13.7	11.9	10.8	13.2
B	H.R. MAXIMA	%	68.0	63.0	59.0	66.0	70.0	77.0	79.0	82.0	81.0	81.0	76.0	73.0	73
B	H.R. MEDIA	%	55	49	45	46	54	65	71	71	72	66	60	58	59
B	H.R. MINIMA	%	38.0	35.0	29.0	31.0	41.0	53.0	62.0	62.0	62.0	49.0	42.0	45.0	46
E	TENSION DE VAPOR (media)	mb	9.13	8.79	9.59	10	10.3	14.6	14.8	14.9	15	13	10	9.9	11.7
B1	EVAPORACION	mm	108.2	132.7	187.8	188.6	178.7	161.7	143.7	145.4	134.5	131.5	108.3	98.8	1,719.9
PRESION															
A	MEDIA	hp	773.9	773.7	773.3	773.7	773.9	773.9	774.8	774.8	773.9	774.7	774.8	774.5	774.2
PRECIPITACION															
A	MEDIA (normal)	mm	8.6	7.7	10.7	31.1	61.1	147.6	165.9	159.6	114.3	63.4	7.3	6.7	784.0
A	MAXIMA	mm	34.5	30.7	46.3	105.8	105.2	350.7	323.5	306.1	205.1	204.1	27.9	43.2	350.7
A	MAXIMA EN 24 HRS.	mm	20.7	20.9	30.3	44.5	30.7	57.8	51.2	67.4	60.5	51.8	23.4	21.8	67.4
B1	MAXIMA EN 1 HR.	mm	7.6	7.3	10.0	35.3	41.5	45.3	53.5	36.5	57.0	46.5	18.0	5.4	57.0
B1	MINIMA	mm													0.0
DIAS GRADO															
E	DIAS GRADO GENERAL	dg	-102.3	-58.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-18.6	-57.0	-89.9	-326.6
E	DIAS GRADO LOCAL	dg	-182.4	-131.2	-61.5	-23.5	-11.9	-32.5	-70.8	-67.7	-68.5	-98.7	-134.5	-170.0	-1,053.4
E	DG-enfriamiento	dg	0.0	0.0	13.4	14.7	11.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	39.3
E	DG-calentamiento	dg	-181.9	-146.9	-124.0	-93.9	-87.5	-85.8	-105.5	-102.4	-101.4	-123.9	-146.8	-171.6	-1471.5
INDICE OMBROTERMICO															
E	TEMP. EQUIVALENTE	coef.	-9.7	-10.15	-8.65	1.55	16.55	59.8	68.95	65.8	43.15	17.7	-10.35	-10.65	18.7
E	INDICE DE ARIDEZ	coef.	-0.7	-0.6	-0.5	0.1	0.8	3.1	3.8	3.6	2.4	1.0	-0.6	-0.7	1.0
E	SECO/HUMEDO		S	S	S	S	S	H	H	H	H	H	S	S	S
RADIACION SOLAR															
tomada de fernández zayaz															
B1	RADIACION MAXIMA DIRECTA	W/m2	474.0	572.0	603.0	534.0	489.0	406.0	389.0	408.0	416.0	424.0	428.0	396.0	461.6
E	RADIACION MAXIMA DIFUSA	W/m2	171.0	176.0	194.0	216.0	229.0	226.0	228.0	228.0	221.0	204.0	182.0	175.0	204.2
B1	RADIACION MAXIMA TOTAL	W/m2	645.0	748.0	797.0	750.0	718.0	632.0	617.0	636.0	637.0	628.0	610.0	571.0	665.8
A	INSOLACION TOTAL	hr	178.2	201.6	216.1	186.2	184	138.6	135.2	147.8	118.9	151	170.1	150.5	1,978.2

Análisis realizado en
 base a Fuentes (2009).

FENOMENOS ESPECIALES

A	LLUVIA APRECIABLE	días	1.80	2.60	3.20	7.10	13.10	17.30	19.90	18.90	14.40	8.40	2.70	1.90	111.30
B1	LLUVIA INAPRECIABLE	días	1.60	2.46	3.36	5.40	5.23	3.63	3.86	3.80	3.63	3.93	3.16	2.26	42.32
B1	DIAS DESPEJADOS	días	14.00	13.40	13.44	8.72	6.10	2.26	0.60	0.53	1.17	5.40	8.70	9.96	84.28
B1	MEDIO NUBLADOS	días	11.14	10.36	12.37	15.62	15.65	10.80	9.33	11.53	9.26	10.96	13.83	13.43	144.28
B1	DIAS NUBLADOS	días	5.53	4.33	4.72	5.13	8.55	16.16	20.26	18.16	18.50	13.53	6.90	7.16	128.93
B1	DIAS CON ROCIO	días	0.75	0.36	0.03	2.33	0.03	2.40	1.50	1.06	0.10	2.73	2.33	2.33	15.95
A	DIAS CON GRANIZO	días	0.00	0.10	0.10	0.30	0.40	0.70	0.70	0.80	0.30	0.30	0.00	0.00	3.70
B1	DIAS CON HELADAS	días	3.42	1.40	0.26	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.46	1.13	2.93	9.80
A	DIAS CON TORM.ELEC.	días	0.50	0.10	0.10	0.40	1.50	2.10	1.40	0.90	0.50	0.90	0.20	0.20	8.80
A	DIAS CON NIEBLA	días	0.10	0.10	0.00	0.70	2.80	3.50	6.40	4.50	3.20	1.70	0.00	0.10	23.10
B1	DIAS CON NEVADA	días	0.07	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.13
B1	VISIBILIDAD DOMINANTE	m	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000

VIENTO

D	DIRECCION DOMINANTE		E	E	O	NE	N	N	NO	NO	N	NO	N	NE	S
D	CALMAS	%	31.1	20.1	11.1	14.6	16.5	21.2	27.0	20.2	22.3	24.4	22.3	33.3	22.0
D	VELOCIDAD MEDIA	m/s	1.1	1.4	1.4	1.2	1.1	1.1	1.0	0.9	0.8	0.8	1.0	1.2	1.1
D	VELOCIDAD MAXIMA	m/s	1.8	2.4	1.9	1.5	1.2	1.3	1.4	1.1	0.9	1.0	1.5	2.3	2.4

- A Normales Climatológicas de la Estación: 00009003 Aquiles Serdán núm. 46, Azcapotzalco, D. F. Latitud: 19°27'00" N., Longitud: 099°11'00" W., Altura: 2,252 m.s.n.m. (estimada en google earth). Servicio Meteorológico Nacional.
 Período de observación: 1971-2000. En: <http://smn.conagua.gob.mx/climatologia/normales/estacion/df/NORMAL09003.TXT>
- B Media Histórica del Observatorio de Tacubaya, Período 1941-1997, en García Chavez, J. R., Fuentes Freixanet, V. A., Arquitectura y Medio Ambiente en la Cd. De México, UAM, D. F. México, 2000.
- B1 Media Histórica del Observatorio de Tacubaya, Período 1951-1980, en García Chavez, J. R., Fuentes Freixanet, V. A., Arquitectura y Medio Ambiente en la Cd. De México, UAM, D. F. México, 2000.
- C Cálculo de la Radiación Solar Instantánea en la República Mexicana. J.F. Zayas I.I. UNAM 472. 1983
- D Atlas del agua de la República Mexicana. SARH
- E Datos calculados.

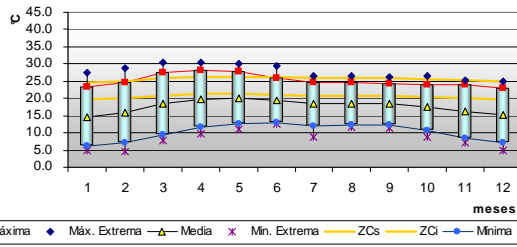
Azcapotzalco, D.F.			
LATITUD		19° 27'	
LONGITUD		99° 11'	
ALTITUD		2252	msnm

mes		N	NE	E	SE	S	SO	O	NO	% Calmas	Variable	prom.	máx.
ENERO	f	11.2	13.0	13.1	4.2	7.3	2.9	5.1	12.1	31.1	0.0		13.1
	v	0.7	0.7	0.7	0.9	1.5	1.8	1.7	1.1			1.1	1.8
FEBRERO	f	10.0	13.8	14.6	6.4	8.9	6.5	11.3	8.4	20.1	0.0		14.6
	v	0.9	0.9	0.9	1.1	2.1	2.4	1.9	1.3			1.4	2.4
MARZO	f	9.1	12.8	13.1	8.9	10.2	9.8	13.4	11.6	11.1	0.0		13.4
	v	0.6	0.9	1.1	1.6	1.6	1.8	1.9	1.4			1.4	1.9
ABRIL	f	13.5	17.2	11.7	5.1	10.3	3.9	7.7	16.0	14.6	0.0		17.2
	v	1.0	0.9	0.9	1.1	1.2	1.3	1.5	1.3			1.2	1.5
MAYO	f	24.4	21.6	7.3	4.2	3.9	3.3	5.7	13.1	16.5	0.0		24.4
	v	1.2	1.1	1.0	0.8	1.2	1.2	1.1	1.1			1.1	1.2
JUNIO	f	23.1	19.8	6.5	3.1	8.5	1.8	3.8	12.2	21.2	0.0		23.1
	v	1.1	1.0	0.8	1.2	1.1	1.0	1.3	1.0			1.1	1.3
JULIO	f	18.9	10.0	4.5	3.6	6.4	0.5	2.7	26.4	27.0	0.0		26.4
	v	1.0	0.8	0.9	1.3	1.4	0.5	0.9	0.9			1.0	1.4
AGOSTO	f	23.0	15.4	5.3	3.3	4.8	0.9	3.7	23.4	20.2	0.0		23.4
	v	0.9	0.8	1.1	1.0	0.9	0.7	1.0	0.9			0.9	1.1
SEPTIEMBRE	f	26.4	11.2	5.8	2.6	2.9	1.3	4.9	22.6	22.3	0.0		26.4
	v	0.8	0.8	0.8	0.8	0.7	0.9	0.8	0.7			0.8	0.9
OCTUBRE	f	21.0	16.5	4.7	3.1	1.7	0.9	2.5	25.2	24.4	0.0		25.2
	v	1.0	0.9	0.6	0.9	0.6	0.9	0.7	1.0			0.8	1.0
NOVIEMBRE	f	22.3	15.6	6.1	3.9	4.2	1.4	3.8	20.4	22.3	0.0		22.3
	v	0.9	0.7	0.7	1.1	1.0	1.5	1.0	0.9			1.0	1.5
DICIEMBRE	f	8.0	13.5	11.3	8.1	7.5	1.9	3.9	12.5	33.3	0.0		13.5
	v	1.2	0.8	0.7	0.9	1.8	2.3	1.0	0.9			1.2	2.3
												1.1	2.4
ANUAL	f	17.6	15.0	8.7	4.7	6.4	2.9	5.7	17.0	22.0	0.0		17.6
	v	0.9	0.9	0.9	1.1	1.3	1.4	1.2	1.0			1.1	1.4

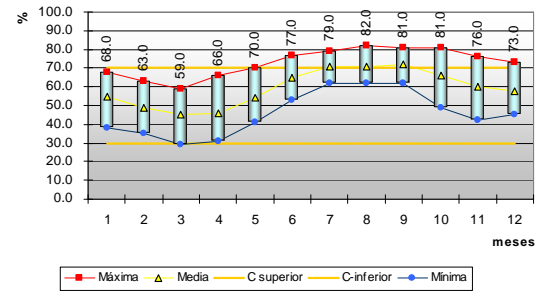
f	%
v	m/seg

Fte: Atlas del Agua de la República Mexicana, S.R.H. México, 1976, en tabla de cálculo de Víctor Fuentes F.

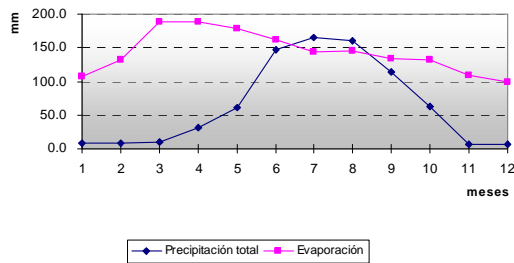
Temperatura



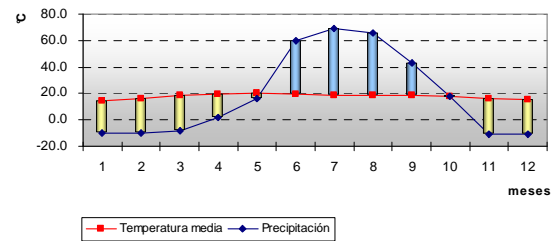
Humedad



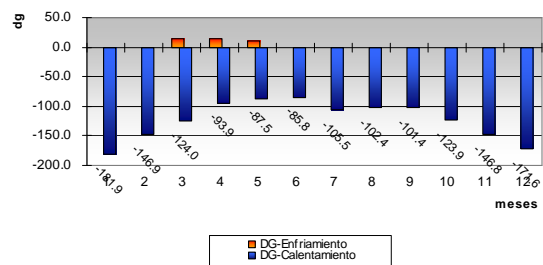
Precipitación y Evaporación



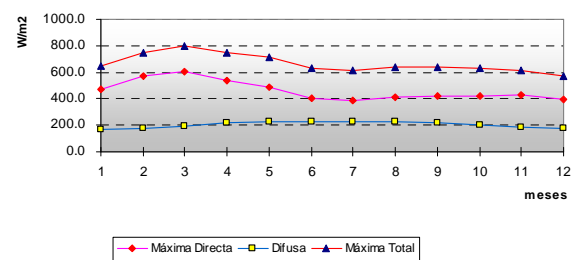
Indice ombrotérmico



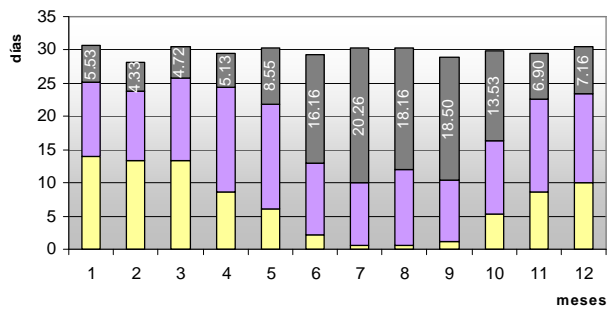
Días Grado



Radiación Solar

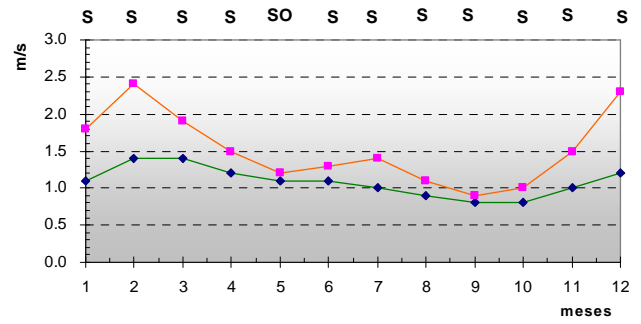


Nubosidad



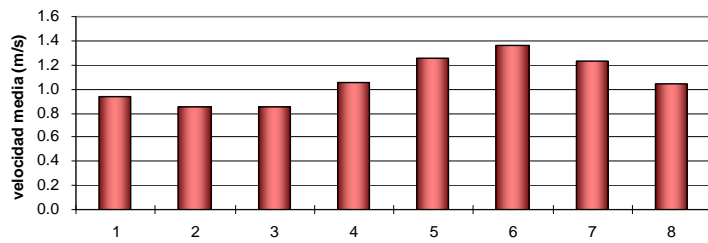
Despejados Medio nublados Nublados

Viento

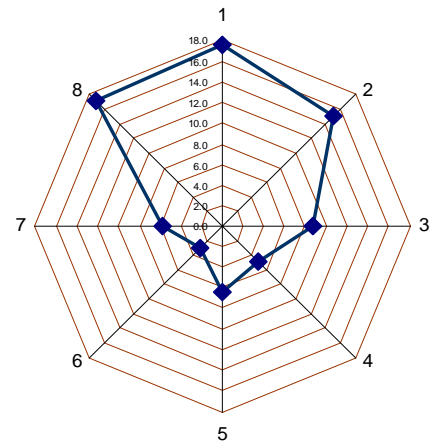


Media Máxima

Velocidad media por orientación



Rosa de los vientos promedio anual



Temperaturas y humedades horarias

Azcapotzalco, D.F.		1951-1980	
CLIMA		Cb (w1) (w) (f) g	
BIOCLIMA		Semifrio	
LATITUD		19° 27'	
LONGITUD		99° 11'	
ALTITUD		2252 msnm	

Tn= 23.1

TEMPERATURA			
Más de			25.58
de	20.6	a	25.58
Menos de			20.58

CONFORT

HUMEDAD RELATIVA			
Más de			70.0
de	30	a	70
Menos de			30

MES	TM	Tm	Tmed
Enero	23.3	6.1	14.7
Febrero	24.7	7.2	15.9
Marzo	27.6	9.5	18.6
Abril	28.2	11.5	19.8
Mayo	27.8	12.5	20.2
Junio	25.8	13.1	19.5
Julio	24.5	12.1	18.3
Agosto	24.6	12.3	18.4
Septiembre	24.2	12.3	18.3
Octubre	24.1	10.7	17.4
Noviembre	23.9	8.4	16.1
Diciembre	23.0	7.1	15.1
ANUAL	25.1	10.2	17.7

TEMPERATURA

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	PRO
10.4	8.9	7.7	6.8	6.3	6.1	6.6	8.1	10.4	13.2	16.2	19.0	21.3	22.8	23.3	23.1	22.6	21.7	20.5	19.0	17.4	15.6	13.8	12.0	14.7
11.5	10.1	8.8	7.9	7.4	7.2	7.7	9.2	11.5	14.3	17.4	20.3	22.6	24.2	24.7	24.5	23.9	23.0	21.8	20.3	18.6	16.7	14.9	13.2	15.9
14.1	12.5	11.3	10.3	9.7	9.5	10.1	11.6	14.1	17.1	20.2	23.1	25.5	27.1	27.6	27.4	26.8	25.9	24.7	23.1	21.4	19.6	17.7	15.9	18.6
15.6	14.2	13.1	12.2	11.7	11.5	12.0	13.4	15.6	18.3	21.2	24.0	26.2	27.7	28.2	28.0	27.5	26.6	25.4	24.0	22.3	20.6	18.9	17.2	19.8
16.4	15.1	14.0	13.2	12.7	12.5	13.0	14.3	16.4	18.9	21.6	24.0	26.0	27.3	27.8	27.6	27.2	26.4	25.3	24.0	22.6	21.1	19.5	17.9	20.2
16.3	15.2	14.3	13.7	13.2	13.1	13.5	14.6	16.3	18.5	20.7	22.7	24.3	25.4	25.8	25.7	25.3	24.6	23.7	22.7	21.5	20.2	18.9	17.6	19.5
15.2	14.2	13.3	12.6	12.2	12.1	12.5	13.5	15.2	17.2	19.4	21.4	23.0	24.1	24.5	24.4	24.0	23.3	22.4	21.4	20.2	18.9	17.7	16.4	18.3
15.3	14.3	13.4	12.8	12.4	12.3	12.7	13.7	15.3	17.3	19.4	21.5	23.1	24.2	24.6	24.5	24.1	23.4	22.5	21.5	20.3	19.0	17.7	16.5	18.4
15.3	14.3	13.5	12.8	12.4	12.3	12.7	13.7	15.3	17.3	19.4	21.3	22.8	23.8	24.2	24.1	23.7	23.1	22.3	21.3	20.2	19.0	17.8	16.5	18.3
14.1	12.9	12.0	11.3	10.8	10.7	11.1	12.3	14.0	16.2	18.6	20.7	22.5	23.7	24.1	24.0	23.5	22.8	21.9	20.8	19.5	18.1	16.7	15.3	17.4
12.2	10.9	9.9	9.1	8.6	8.4	8.9	10.2	12.2	14.7	17.4	20.0	22.1	23.4	23.9	23.7	23.2	22.4	21.3	20.0	18.5	16.8	15.2	13.7	16.1
11.1	9.8	8.6	7.8	7.3	7.1	7.6	9.0	11.1	13.8	16.5	19.1	21.2	22.5	23.0	22.8	22.3	21.5	20.4	19.1	17.6	16.0	14.3	12.7	15.1
14.0	12.7	11.7	10.9	10.4	10.2	10.7	12.0	14.0	16.4	19.0	21.4	23.4	24.7	25.1	25.0	24.5	23.7	22.7	21.4	20.0	18.5	16.9	15.4	17.7

HUMEDAD RELATIVA

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	PRO
60	63	65	67	68	68	67	64	61	56	50	46	42	39	38	38	39	41	43	45	48	51	55	58	53
56	58	60	62	63	63	62	60	56	51	47	42	38	36	35	35	36	38	40	42	45	48	50	53	49
51	54	56	58	59	59	58	55	52	47	41	37	33	30	29	29	30	32	34	36	39	42	46	49	44
57	60	63	64	66	66	65	62	57	52	45	40	35	32	31	31	33	34	37	40	43	47	50	54	48
63	65	67	69	70	70	69	67	63	58	53	48	44	42	41	41	42	44	46	48	51	54	57	60	55
71	73	75	76	77	77	76	74	71	67	63	59	56	54	53	53	54	55	57	59	61	64	66	69	65
75	76	77	78	79	79	78	77	75	72	69	66	64	63	62	62	63	64	65	66	68	70	71	73	70
77	79	80	81	82	82	81	80	77	74	70	67	64	63	62	62	63	64	65	67	69	71	73	75	72
76	78	79	80	81	81	80	79	76	73	70	67	64	63	62	62	63	64	65	67	69	71	72	74	71
73	76	78	80	81	81	80	77	73	68	62	57	53	50	49	49	50	52	54	57	60	63	67	70	65
67	70	73	75	76	76	75	72	68	62	56	51	46	43	42	42	43	45	48	50	54	57	61	64	59
66	68	70	72	73	73	72	70	66	61	57	52	48	46	45	45	46	48	50	52	55	58	60	63	59
66	68	70	72	73	73	72	70	66	62	57	53	49	47	46	46	47	48	50	53	55	58	61	64	59

RADIACIÓN SOLAR MÁXIMA TOTAL

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	62.9	225.4	388.5	524.4	613.8	645.0	613.8	524.4	388.5	225.4	62.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	109.4	293.5	472.3	618.9	714.7	748.0	714.7	618.9	472.3	293.5	109.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	157.4	346.9	525.8	670.6	764.5	797.0	764.5	670.6	525.8	346.9	157.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	30.4	186.9	357.6	515.1	641.0	722.1	750.0	722.1	641.0	515.1	357.6	186.9	30.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	55.8	206.1	363.6	506.8	620.3	693.0	718.0	693.0	620.3	506.8	363.6	206.1	55.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	59.5	191.4	327.8	451.0	548.4	610.6	632.0	610.6	548.4	451.0	327.8	191.4	59.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	49.7	178.8	313.8	436.3	533.4	595.6	617.0	595.6	533.4	436.3	313.8	178.8	49.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	27.9	160.7	305.0	437.9	544.1	612.4	636.0	612.4	544.1	437.9	305.0	160.7	27.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	125.8	277.3	420.3	536.0	611.0	637.0	611.0	536.0	420.3	277.3	125.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	93.2	247.6	397.3	520.0	600.2	628.0	600.2	520.0	397.3	247.6	93.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	60.6	214.2	368.2	496.3	580.6	610.0	580.6	496.3	368.2	214.2	60.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	44.6	189.3	337.0	460.7	542.5	571.0	542.5	460.7	337.0	189.3	44.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	131.5	289.8	439.2	560.2	638.6	665.8	638.6	560.2	439.2	289.8	131.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

 Horas con
de 120 W/m²

9
9
11
11
11
11
11
11
11
9
9
9
11

RADIACIÓN SOLAR MÁXIMA DIRECTA

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	25.8	127.4	251.6	365.9	445.5	474.0	445.5	365.9	251.6	127.4	25.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	51.7	177.7	321.9	451.4	540.4	572.0	540.4	451.4	321.9	177.7	51.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	79.4	213.2	358.5	486.0	572.4	603.0	572.4	486.0	358.5	213.2	79.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.7	94.0	211.6	333.9	438.8	509.2	534.0	509.2	438.8	333.9	211.6	94.0	9.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	20.1	102.7	208.9	316.3	407.3	467.8	489.0	467.8	407.3	316.3	208.9	102.7	20.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	21.2	91.2	178.7	266.3	340.0	388.9	406.0	388.9	340.0	266.3	178.7	91.2	21.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	16.7	82.7	167.1	252.3	324.3	372.2	389.0	372.2	324.3	252.3	167.1	82.7	16.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.2	73.1	162.8	255.9	335.7	389.2	408.0	389.2	335.7	255.9	162.8	73.1	8.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	54.8	147.1	247.4	335.3	394.9	416.0	394.9	335.3	247.4	147.1	54.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	39.0	132.4	239.2	334.9	400.7	424.0	400.7	334.9	239.2	132.4	39.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	23.9	115.7	227.7	330.7	402.4	428.0	402.4	330.7	227.7	115.7	23.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	16.3	99.6	204.8	302.8	371.4	396.0	371.4	302.8	204.8	99.6	16.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	60.8	163.2	274.5	372.0	438.2	461.6	438.2	372.0	274.5	163.2	60.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

 Horas con
mas de 120

9
9
9
9
9
9
9
9
9
9
9
7
7
9

RADIACIÓN SOLAR MÁXIMA DIFUSA

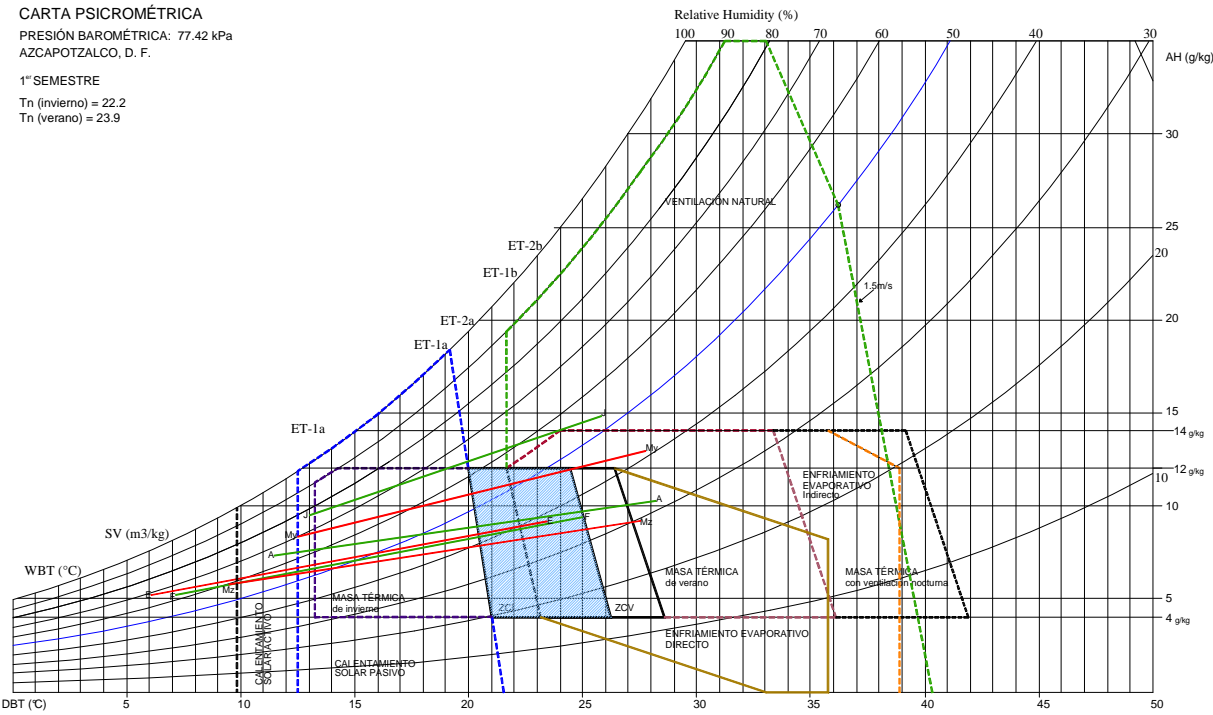
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	37.1	98.1	137.0	158.5	168.3	171.0	168.3	158.5	137.0	98.1	37.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	57.7	115.9	150.3	167.5	174.4	176.0	174.4	167.5	150.3	115.9	57.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	78.0	133.7	167.3	184.7	192.1	194.0	192.1	184.7	167.3	133.7	78.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	20.7	92.9	146.0	181.2	202.2	212.8	216.0	212.8	202.2	181.2	146.0	92.9	20.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	35.7	103.3	154.7	190.4	213.0	225.2	229.0	225.2	213.0	190.4	154.7	103.3	35.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	38.3	100.2	149.1	184.7	208.4	221.7	226.0	221.7	208.4	184.7	149.1	100.2	38.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	33.0	96.1	146.7	184.1	209.1	223.4	228.0	223.4	209.1	184.1	146.7	96.1	33.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	19.7	87.6	142.2	182.0	208.4	223.2	228.0	223.2	208.4	182.0	142.2	87.6	19.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	71.0	130.2	172.9	200.7	216.1	221.0	216.1	200.7	172.9	130.2	71.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	54.1	115.1	158.1	185.1	199.5	204.0	199.5	185.1	158.1	115.1	54.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	36.7	98.5	140.5	165.6	178.2	182.0	178.2	165.6	140.5	98.5	36.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	28.2	89.7	132.1	157.9	171.0	175.0	171.0	157.9	132.1	89.7	28.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	70.7	126.6	164.8	188.2	200.4	204.2	200.4	188.2	164.8	126.6	70.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

 Horas con
mas de 120

7
7
9
9
9
9
9
9
9
7
7
7
9

DIAGRAMAS BIOCLIMÁTICOS

Cartas Psicrométricas



Carta Psicrométrica 1^{er} semestre con base en Szokolay (1999).

ESTRATEGIAS DE DISEÑO		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
CONFORT	Tmax	C	C							C	C	C	C	C
	Tmed													
	Tmin													
RADIACIÓN SOLAR	Tmax	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
	Tmed	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
	Tmin	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
SOMBREADO	Tmax	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
	Tmed													
	Tmin													
VENTILACIÓN	Tmax			V	V	V	V	V	V					
	Tmed													
	Tmin													
ENFRIAMIENTO EVAPORATIVO	Tmax			EE	EE	EE	EE							
	Tmed													
	Tmin													
MASA TÉRMICA INVERNAL		Mi	Mi	Mi	Mi	Mi	Mi	Mi	Mi	Mi	Mi	Mi	Mi	Mi
	Tmax	M	M	M	M	M	M			M	M	M	M	M
	Tmed													
MASA TÉRMICA / VENTILACIÓN NOCTURNA	Tmin													
CALEFACCIÓN CONVENCIONAL														
AIRE ACONDICIONADO														

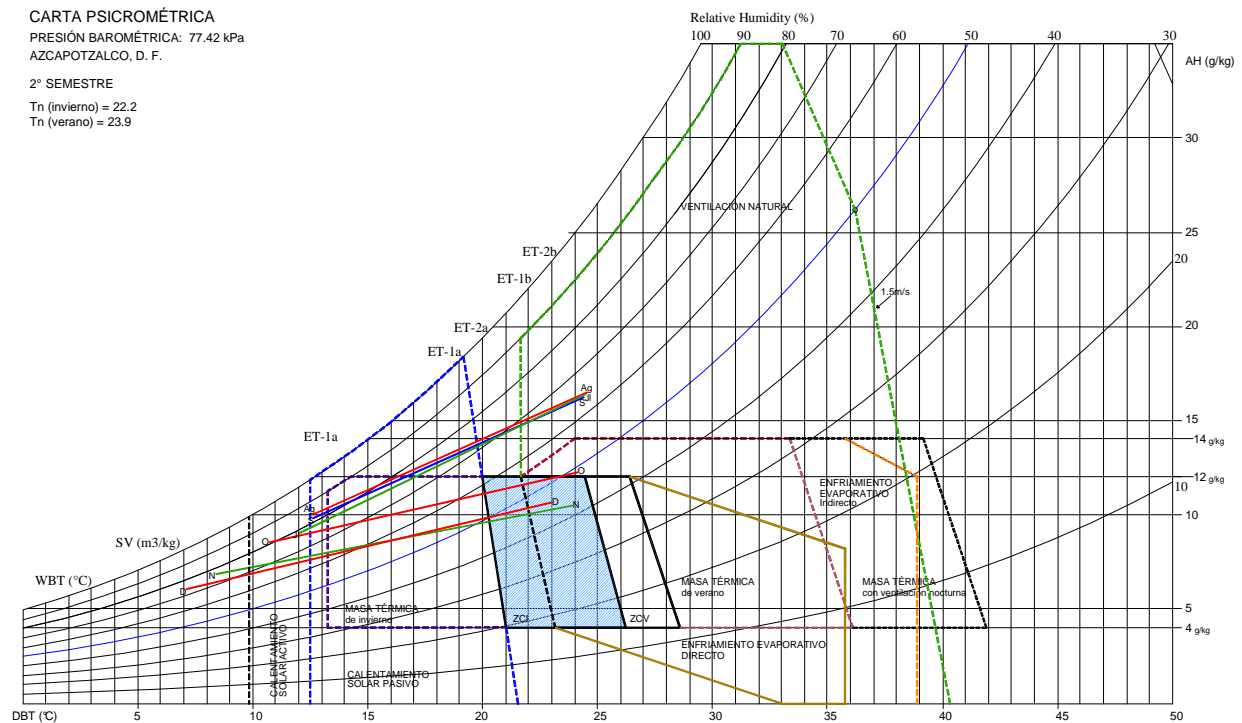
Estrategias de la Carta Psicrométrica con base en Fuentes (2008).

CARTA PSICROMÉTRICA

PRESIÓN BAROMÉTRICA: 77.42 kPa
AZCAPOTZALCO, D. F.

2° SEMESTRE

Tn (invierno) = 22.2
Tn (verano) = 23.9



Carta Psicrométrica 2° semestre con base en Szokola y (1999).

ESTRATEGIAS DE DISEÑO		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
CONFORT	Tmax	C	C							C	C	C	C	C
	Tmed													
	Tmin													
RADIACIÓN SOLAR	Tmax	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
	Tmed	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
	Tmin	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
SOMBREADO	Tmax	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
	Tmed													
	Tmin													
VENTILACIÓN	Tmax			V	V	V	V	V	V					
	Tmed													
	Tmin													
ENFRIAMIENTO EVAPORATIVO	Tmax			EE	EE	EE	EE							
	Tmed													
	Tmin													
MASA TÉRMICA INVERNAL	Tmax	Mi	Mi	Mi	Mi	Mi	Mi	Mi	Mi	Mi	Mi	Mi	Mi	Mi
	Tmed													
	Tmin													
MASA TÉRMICA	Tmax	M	M	M	M	M	M			M	M	M	M	M
	Tmed													
	Tmin													
MASA TÉRMICA / VENTILACIÓN NOCTURNA	Tmax													
	Tmed													
	Tmin													
CALEFACCIÓN CONVENCIONAL	Tmax													
	Tmed													
	Tmin													
AIRE ACONDICIONADO	Tmax													
	Tmed													
	Tmin													

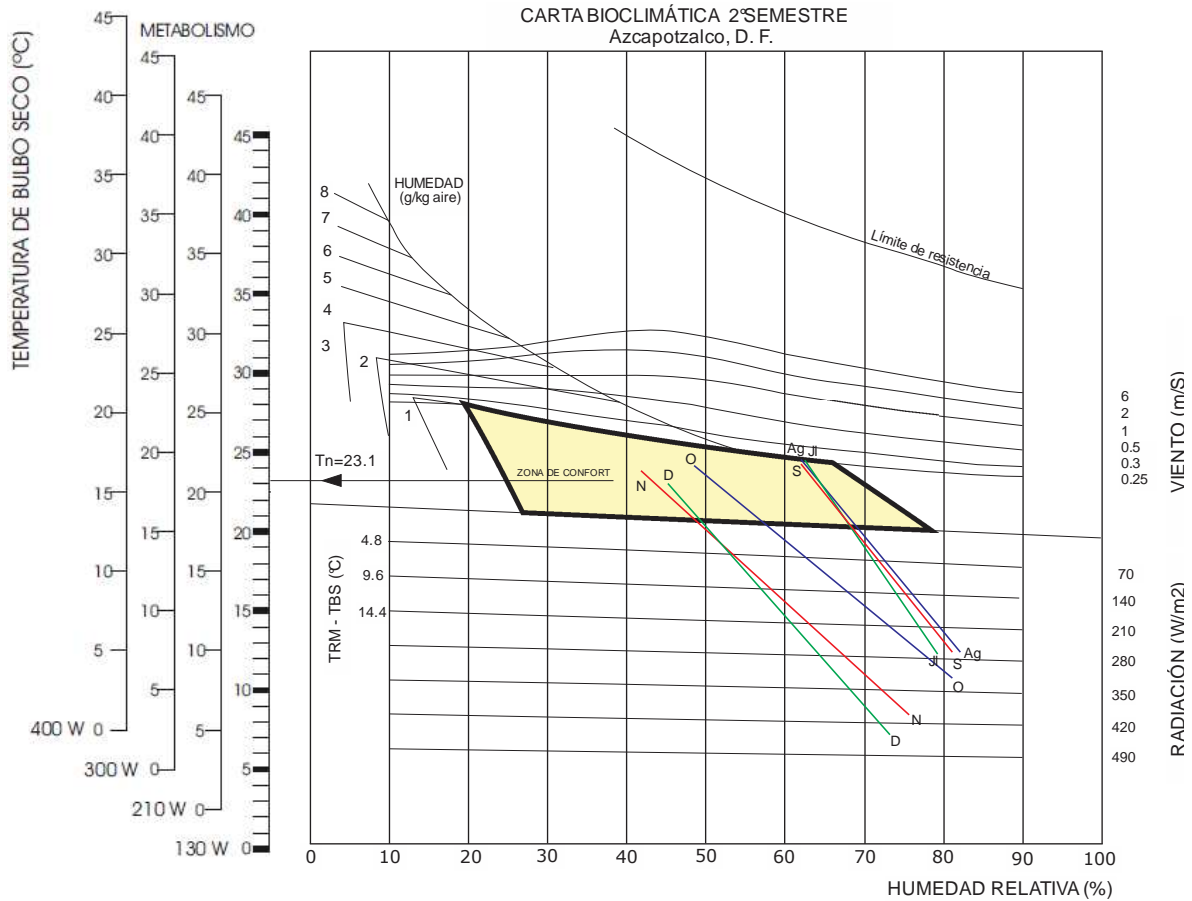
Estrategias de la Carta Psicrométrica con base en Fuentes (2008).

Con base en Olgyay, revisada por Szokolay



ESTRATEGIAS DE DISEÑO

Estrategias de la Carta Bioclimática con base en Fuentes (2008).



CARTA BIOCLIMÁTICA DE OLGYAY (revisada por Szokolay)

TEMPERATURA NEUTRA

Temperatura neutra	°C	22.16	22.53	23.37	23.74	23.86	23.65	23.27	23.30	23.27	22.99	22.59	22.28	23.08
límite máximo de confort	+2.5	24.66	25.03	25.87	26.24	26.36	26.15	25.77	25.80	25.77	25.49	25.09	24.78	25.58
límite mínimo de confort	-2.5	19.66	20.03	20.87	21.24	21.36	21.15	20.77	20.80	20.77	20.49	20.09	19.78	20.58

ESTRATEGIAS DE DISEÑO

Confort	Tmax	C	C					C		C	C	C	C	C
	Tmed													
	Tmin													
Radiación (W/m²)	Tmax													
	Tmed	140-210	140-210	0-70	0-70	0-70	0-70	0-70	0-70	0-70	70-140	70-140	140-210	70-140
	Tmin	420-490	420-490	350-420	280-350	210-280	210-280	210-280	210-280	210-280	280-350	350-420	350-420	280-350
Sombreado	Tmax	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
	Tmed													
	Tmin													
Ventilación	Tmax			V	V	V	V		V					
	Tmed													
	Tmin													
Humidificación	Tmax			H	H	H								
	Tmed													
	Tmin													

Estrategias de la Carta Bioclimática con base en Fuentes (2008).

Mahoney

Ciudad: Azcapotzalco, D. F.

INDICADORES DE MAHONEY						no.		Recomendaciones
1	2	3	4	5	6			
0	3	2	9	0	0			
Distribución			1			1	1	Orientación Norte-Sur (eje largo E-O)
					1		2	
Espaciamiento							3	
	1					1	4	
							5	Configuración compacta
Ventilación				1			6	
	1	1				1	7	Habitaciones en doble galería
							8	- Ventilación Temporal -
Tamaño de las Aberturas					1		9	
							10	
			1			1	11	Pequeñas 20 - 30 %
					1		12	
							13	
Posición de las Aberturas							14	
	1	1				1	15	(N y S), a la altura de los ocupantes en barlovento, con aberturas también en los muros interiores
Protección de las Aberturas			1			1	16	Sombreado total y permanente
						1	17	Protección contra la lluvia
Muros y Pisos							18	
			1			1	19	Masivos -Arriba de 8 h de retardo térmico
Techumbre				1			20	
	1						21	
				1		1	22	Masivos -Arriba de 8 h de retardo térmico
Espacios nocturnos exteriores							23	
							24	

Triángulos de Confort de Evans

PARAMETROS	U	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
TRIANGULO DE EVANS														
ZONAS DE CONFORT														
Zona A (Confort Diurno)														
Zona B (Confort Nocturno)														
Zona C (Circulaciones interiores)						C	C	C	C	C	C			
Zona D (Circulaciones exteriores)						D	D	D	D	D	D	D		
ESTRATEGIAS DE DISEÑO														
Confort														
Ganancia Solar										GS				
Ganancias Internas										GI				
Masa Térmica			MT	MT	MT	MT								
Ventilación														
Ventilación Selectiva														
Enfriamiento Evaporativo														
Humidificación														
Masa Térmica + Solar	GS+MT	GS+MT						GS+MT	GS+MT		GS+MT	GS+MT	GS+MT	

MATERIAL	TIPO	ÁREA (m2)	ESPESOR (m2)	VOLTAJE voltios (V)	RESISTENC ohm (Ω)	q (Watt) V²/R	VOLUMEN cm3	PESO kg	DENSIDAD gr/cm³	CALOR ESPECIFICO C (J/seg°C)
PLANTA	LONG	0.00237584	0.003	2.59	2.53	2.6514	7.12752	0.0141211	0.971	
Fuente:		M	M	M	M	C	M	M	°C	C

HORA	TERMOPARES TA				TERMOPARES TB			ANULADO	TA (°C)	TB (°C)	TA-TB (K)	CONDUCTIVIDAD k (W/m2)	
	1	2	3	4	5	6	7						8
Jueves/2	13:00:50	24.2	25.6	26.5	24.9	22.3	22.1	22.1	30.8	25.3	22.16667	3.13333	1.068507038
Jueves/2	13:01:50	24.7	30.8	28.7	26.5	22.1	21.8	21.6	33.8	27.675	21.83333	5.84167	0.573122177
Jueves/2	13:02:50	25.1	34.1	30.5	27.5	22.1	21.8	21.4	24.2	29.3	21.76667	7.53333	0.444423281
Jueves/2	13:03:50	25.8	36.2	31.7	28.2	22.3	21.8	21.4	27.2	30.475	21.83333	8.64167	0.38742396
Jueves/2	13:04:50	26.3	37.8	32.9	28.9	22.5	22.1	21.4	23.5	31.475	22.00000	9.47500	0.353349733
Jueves/2	13:05:50	27	39	33.8	29.6	22.8	22.1	21.6	23.2	32.35	22.16667	10.18333	0.328771396
Jueves/2	13:06:50	27.7	40	34.5	30.1	23	22.3	21.8	30.3	33.075	22.36667	10.70833	0.312662643
Jueves/2	13:07:50	28.2	40.4	35.2	30.5	23.2	22.5	21.8	28.2	33.575	22.50000	11.07500	0.302301464
Jueves/2	13:08:50	28.7	41.1	36	31	23.7	22.8	22.1	30.5	34.2	22.86667	11.33333	0.295410769
Jueves/2	13:09:50	29.1	41.6	36.4	31.2	24	22.8	22.3	31	34.575	23.03333	11.54167	0.290078445
Jueves/2	13:10:50	29.6	41.8	36.9	31.7	24	23	22.3	27.7	35	23.10000	11.90000	0.28134359
Jueves/2	13:11:50	29.8	42.3	37.1	32	24.2	23	22.5	30.8	35.3	23.23333	12.06667	0.277457629
Jueves/2	13:12:50	30.3	42.5	37.6	32.2	24.4	23.2	22.5	31.5	35.65	23.36667	12.28333	0.272563532
Jueves/2	13:13:50	30.5	42.7	37.8	32.7	24.7	23.2	22.8	25.6	35.925	23.56667	12.35833	0.270909404
Jueves/2	13:14:50	30.8	43	38.1	32.9	24.7	23.5	22.8	26.3	36.2	23.66667	12.53333	0.267126759
Jueves/2	13:15:50	31	43.2	38.3	33.1	24.7	23.5	22.8	29.8	36.4	23.66667	12.73333	0.262931051
Jueves/2	13:16:50	31.2	43.2	38.5	33.1	24.9	23.5	23	31.2	36.5	23.80000	12.70000	0.263621159
Jueves/2	13:17:50	31.2	43.4	38.5	33.4	24.9	23.7	23	32.4	36.625	23.86667	12.75833	0.262415837
Jueves/2	13:18:50	31.5	43.7	38.8	33.6	24.9	23.7	23	28.4	36.9	23.86667	13.03333	0.25687893
Jueves/2	13:19:50	31.7	43.7	39	33.6	25.1	23.7	23	28.7	37	23.93333	13.06667	0.256223626
Jueves/2	13:20:50	31.7	43.9	39	33.8	25.1	23.7	23	28.2	37.1	23.93333	13.16667	0.254277624
Jueves/2	13:21:50	31.7	43.9	39.2	34.1	25.1	23.7	23.2	33.8	37.225	24.00000	13.22500	0.253156047
Jueves/2	13:22:50	32	44.1	39.2	34.1	25.1	24	23.2	32.2	37.35	24.10000	13.25000	0.252678394
Jueves/2	13:23:50	32	44.1	39.5	34.1	25.4	24	23.2	29.8	37.425	24.20000	13.22500	0.253156047
Jueves/2	13:24:50	32	44.1	39.5	34.3	25.4	24	23.2	29.8	37.475	24.20000	13.27500	0.25220254
Jueves/2	13:25:50	32.2	44.4	39.5	34.3	25.4	24	23.2	25.4	37.6	24.20000	13.40000	0.249849904
Jueves/2	13:26:50	32.2	44.4	39.7	34.5	25.4	24	23.2	33.1	37.7	24.20000	13.50000	0.247999164
Jueves/2	13:27:50	32.2	44.4	40.2	34.5	25.4	24	23.2	35.2	37.825	24.20000	13.62500	0.245723943
Jueves/2	13:28:50	32.2	44.4	40.2	34.5	25.4	24	23.2	33.1	37.825	24.20000	13.62500	0.245723943

Fuente:		PROMEDIO=	0.260504076
M	Medido durante las pruebas de laboratorio		k = W/m2
C	Calculado en base a los datos obtenidos		
B	Valor Bibliográfico		
*C	En este caso se toma el valor medido sobre el es queje 29, por ser una medición más representativa.		

Debido a que las mediciones se realizaron durante 3 horas en promedio para los materiales, se presenta aquí sólo parte de los resultados. La prueba completa arroja once hojas de cálculos por cada material iguales a la aquí mostrada.

MATERIAL	TIPO	ÁREA (m ²)	ESPEJOR (m ²)	VOLTAJE voltio (V)	RESISTENC ohm (Ω)	q (Watt) V ² /R	VOLUMEN cm ³	PESO gr	DENSIDAD gr/cm ³	CALOR ESPECÍFICO
FIBRA DE COCO	MEMBRANA	0.00237584	0.006	1.57	2.53	0.9743	14.2549	1.2454	0.08736645	
	Fuente:	M	M	M	M	C	M	M	C	C

		TERMOPARES TA				TERMOPARES TB			ANULADO				CONDUCTIVIDAD
	HORA	1	2	3	4	5	6	7	8	TA (°C)	TB (°C)	TA-TB (K)	k (W/m2)
Miércoles	12:17:42	20.9	20.7	20.7	20.9	18	17.3	16.8	29.6	20.8	17.36667	3.43333	0.716634626
Miércoles	12:18:42	23.5	23.2	23.2	23.5	18	17.3	16.8	27.5	23.35	17.36667	5.98333	0.411216526
Miércoles	12:19:42	26.1	25.4	25.6	25.8	18.3	17.3	16.8	28	25.725	17.46667	8.25833	0.29793488
Miércoles	12:20:42	28	27.2	27.2	27.7	18.3	17.3	16.8	29.6	27.525	17.46667	10.05833	0.244617619
Miércoles	12:21:42	29.6	28.9	28.9	29.1	18.3	17.3	16.8	29.8	29.125	17.46667	11.65833	0.21104608
Miércoles	12:22:42	31	30.1	30.1	30.5	18.3	17.3	16.8	29.4	30.425	17.46667	12.95833	0.189873611
Miércoles	12:23:42	32.4	31.5	31.5	31.7	18.5	17.3	16.8	30.5	31.775	17.53333	14.24167	0.172763877
Miércoles	12:24:42	33.4	32.4	32.2	32.7	18.5	17.3	16.8	29.6	32.675	17.53333	15.14167	0.162495028
Miércoles	12:25:42	34.3	33.4	33.1	33.6	18.5	17.3	16.8	30.8	33.6	17.53333	16.06667	0.153139764
Miércoles	12:26:42	34.8	34.1	34.1	34.3	18.7	17.3	16.8	29.6	34.325	17.60000	16.72500	0.147111841
Miércoles	12:27:42	35.5	34.8	34.5	35	18.5	17.3	16.8	31.5	34.95	17.53333	17.41667	0.141269601
Miércoles	12:28:42	36.2	35	34.8	35.5	18.5	17.3	16.8	29.4	35.375	17.53333	17.84167	0.137904468
Miércoles	12:29:42	36.7	35.5	35.5	36	18.7	17.3	16.8	29.1	35.925	17.60000	18.32500	0.134267151
Miércoles	12:30:42	37.1	36	35.7	36.2	18.7	17.3	16.8	29.1	36.25	17.60000	18.65000	0.131927375
Miércoles	12:31:42	37.4	36.4	36.2	36.7	18.7	17.3	16.8	29.6	36.675	17.60000	19.07500	0.128987971
Miércoles	12:32:42	37.6	36.7	36.2	36.9	18.7	17.3	16.6	29.6	36.85	17.53333	19.31667	0.12737423
Miércoles	12:33:42	37.8	36.9	36.4	37.1	18.7	17.3	16.6	31	37.05	17.53333	19.51667	0.126088944
Miércoles	12:34:42	38.1	36.9	36.7	37.4	18.7	17.1	16.6	29.1	37.275	17.46667	19.80833	0.124212649
Miércoles	12:35:42	38.3	37.4	36.9	37.6	18.7	17.3	16.6	30.1	37.55	17.53333	20.01667	0.122919844
Miércoles	12:36:42	38.5	37.4	37.1	37.6	18.7	17.3	16.8	31.5	37.65	17.60000	20.05000	0.122715489
Miércoles	12:37:42	38.5	37.6	37.4	37.8	18.7	17.3	16.8	29.4	37.825	17.60000	20.22500	0.121653674
Miércoles	12:38:42	38.8	37.6	37.4	38.1	18.7	17.3	16.8	31	37.975	17.60000	20.37500	0.120758084
Miércoles	12:39:42	39	37.8	37.6	38.1	18.7	17.3	16.8	29.6	38.125	17.60000	20.52500	0.119875544
Miércoles	12:40:42	39	37.8	37.6	38.3	18.7	17.3	16.8	30.1	38.175	17.60000	20.57500	0.119584231
Miércoles	12:41:42	39	38.1	37.6	38.3	18.7	17.3	16.6	31.2	38.25	17.53333	20.71667	0.118766479
Miércoles	12:42:42	39.2	38.1	37.8	38.5	19	17.3	16.8	30.3	38.4	17.70000	20.70000	0.118862104
Miércoles	12:43:42	39	38.1	37.8	38.5	19	17.3	16.8	29.1	38.35	17.70000	20.65000	0.119149905
Miércoles	12:44:42	39.2	38.3	37.8	38.5	19	17.3	16.8	28.2	38.45	17.70000	20.75000	0.118575689
Miércoles	12:45:42	39.2	38.3	37.8	38.5	19	17.3	16.8	28.9	38.45	17.70000	20.75000	0.118575689
Miércoles	15:14:42	39.5	38.5	38.3	38.8	19.5	17.8	17.3	29.8	38.775	18.20000	20.57500	0.119584231
Miércoles	15:15:42	40	39	38.8	39	20	18.3	17.8	32.7	39.2	18.70000	20.50000	0.120021734
Miércoles	15:16:42	39.5	38.8	38.5	38.8	19.7	18	17.5	31.2	38.9	18.40000	20.50000	0.120021734
Miércoles	15:17:42	39.7	39	38.8	39	20	18.3	17.8	32	39.125	18.70000	20.42500	0.12046245

PROMEDIO= 0.128288131
k = W/m²

Fibra de coco

MATERIAL	TIPO	ÁREA (m ²)	ESPESOR (m ²)	VOLTAJE voltios (V)	RESISTENC ohm (Ω)	q	V ² /R	VOLUMEN cm ³	PESO gr	DENSIDAD gr/cm ³	CALOR ESPECÍFICO
PVC	MEMBRANA	0.00237584	0.001	3.04	2.53	3.6528	2.375829	3.3662	1.41685281		
	Fuente:	M	M	M	M	C		M	M	C	C

	HORA	TERMOPARES TA				TERMOPARES TB				ANULADO	TA (°C)	TB (°C)	TA-TB (K)	CONDUCTIVIDAD D k (W/m ²)
		1	2	3	4	5	6	7	8					
Lunes/19/	13:09:38	25.4	24.2	24.2	21.8	18.7	19	20	19.7	19.7	23.9	19.23333	4.66667	0.329460679
Lunes/19/	13:10:38	32	29.8	30.3	26.1	20	19.7	22.3	19.5	19.5	29.55	20.66667	8.88333	0.173075028
Lunes/19/	13:11:38	36.5	33.1	33.8	28.4	20.9	20.7	24.2	23	23	32.7	21.93333	10.76667	0.142800294
Lunes/19/	13:12:38	39.7	36.9	37.8	31	21.8	21.4	26.1	20.7	20.7	36.35	23.10000	13.25000	0.116036466
Lunes/19/	13:13:38	42.7	39.7	40.6	32.9	22.5	21.8	27.5	25.8	25.8	38.975	23.93333	15.04167	0.102214948
Lunes/19/	13:14:38	45.3	41.8	43	34.3	23.2	22.3	28.7	17.8	17.8	41.1	24.73333	16.36667	0.093839608
Lunes/19/	13:15:38	47.9	43.9	45.3	35.7	24	22.8	29.8	24.4	24.4	43.2	25.53333	17.66667	0.087027349
Lunes/19/	13:16:38	47.6	43.7	45.3	35.5	24.2	23	30.5	23.7	23.7	43.025	25.90000	17.12500	0.089780039
Lunes/19/	13:17:38	43	39.7	40.9	32.4	23.5	22.5	28.9	26.3	26.3	39	24.96667	14.03333	0.109559371
Lunes/19/	13:18:38	40.9	37.8	39	31	22.8	22.1	27.5	25.6	25.6	37.175	24.13333	13.04167	0.117890083
Lunes/19/	13:19:38	39.7	36.7	37.6	30.3	22.5	21.8	27	25.8	25.8	36.075	23.76667	12.30833	0.124914002
Lunes/19/	13:20:38	38.3	35.7	36.4	29.6	22.3	21.6	26.3	24.9	24.9	35	23.40000	11.60000	0.132541652
Lunes/19/	13:21:38	37.6	35	35.7	29.1	22.1	21.4	26.1	23.7	23.7	34.35	23.20000	11.15000	0.137890867
Lunes/19/	13:22:38	36.9	34.3	35	28.7	21.8	21.1	25.6	18.5	18.5	33.725	22.83333	10.89167	0.141161423
Lunes/19/	13:23:38	36.2	33.8	34.5	28.4	21.8	21.1	25.4	24.2	24.2	33.225	22.76667	10.45833	0.147010343
Lunes/19/	13:24:38	35.7	33.4	34.1	28.2	21.6	21.1	25.1	20.2	20.2	32.85	22.60000	10.25000	0.149998358
Lunes/19/	13:25:38	35.5	33.1	33.8	28	21.6	21.1	25.1	19	19	32.6	22.60000	10.00000	0.153748317
Lunes/19/	13:26:38	35.2	32.9	33.6	28	21.4	20.9	24.9	24.2	24.2	32.425	22.40000	10.02500	0.153364805
Lunes/19/	13:27:38	35	32.7	33.4	27.7	21.4	20.9	24.9	24	24	32.2	22.40000	9.80000	0.156886038
Lunes/19/	13:28:38	35	32.7	33.1	27.7	21.4	20.9	24.7	19.5	19.5	32.125	22.33333	9.79167	0.157019558
Lunes/19/	13:29:38	34.8	32.4	33.1	27.7	21.4	20.9	24.7	21.6	21.6	32	22.33333	9.66667	0.159049663
Lunes/19/	13:30:38	34.5	32.4	33.1	27.5	21.4	20.9	24.7	19.7	19.7	31.875	22.33333	9.54167	0.161133607
Lunes/19/	13:31:38	34.5	32.4	33.1	27.5	21.4	20.9	24.7	21.6	21.6	31.875	22.33333	9.54167	0.161133607
Lunes/19/	13:32:38	34.5	32.2	32.9	27.5	21.4	20.9	24.7	21.4	21.4	31.775	22.33333	9.44167	0.16284023
Lunes/19/	13:33:38	34.3	32	32.7	27.2	21.4	20.9	24.7	21.8	21.8	31.55	22.33333	9.21667	0.166815534
Lunes/19/	13:34:38	34.1	31.7	32.4	27.2	21.4	20.9	24.4	23.2	23.2	31.35	22.23333	9.11667	0.16864532
Lunes/19/	13:35:38	33.8	31.5	32.2	27	21.1	20.9	24.4	24.7	24.7	31.125	22.13333	8.99167	0.170989787
Lunes/19/	13:36:38	33.6	31.5	32.2	27	21.1	20.7	24.4	22.5	22.5	31.075	22.06667	9.00833	0.170673432
Lunes/19/	13:37:38	33.6	31.5	32	27	21.1	20.7	24.4	21.6	21.6	31.025	22.06667	8.96833	0.171626028
Lunes/19/	15:29:38	32.2	30.3	30.8	26.3	21.4	21.1	24	21.6	21.6	29.9	22.16667	7.73333	0.198812479
Lunes/19/	15:30:38	32.2	30.3	30.8	26.5	21.4	21.1	24	22.1	22.1	29.95	22.16667	7.78333	0.197535311
Lunes/19/	15:31:38	32.2	30.3	30.8	26.5	21.4	20.9	24.2	22.3	22.3	29.95	22.16667	7.78333	0.197535311
Lunes/19/	15:32:38	32.2	30.3	30.8	26.5	21.4	20.9	24	21.6	21.6	29.95	22.10000	7.85000	0.195857728

Fuente:	PROMEDIO=	0.178661784
M	Medido durante las pruebas de laboratorio	k = W/m ²
C	Calculado en base a los datos obtenidos	
B	Valor Bibliográfico	

Nota: está dentro del rango encontrado en fuentes bibliográficas para este material (entre 0.12 y 0.25)

PVC

MATERIAL	TIPO	ÁREA (m ²)	ESPESOR (m ²)	VOLTAJE volts (V)	RESISTENC ohm (Ω)	q (Watt) V ² /R	VOLUMEN cm ³	PESO gr	DENSIDAD gr/cm ³	CALOR ESPECÍFICO
POLIÉSTER	MEMBRANA	0.00237584	0.003	0.902	2.53	0.3216	7.12752	0.9428	0.13227602	
Fuente:		M	M	M	M	C	M	M	C	C

	HORA	TERMOPARES TA				TERMOPARES Tb			ANULADO	TA (°C)	Tb (°C)	TA-Tb (K)	CONDUCTIVIDAD k (W/m ²)
		1	2	3	4	5	6	7	8				
Viernes/	11:40:10	24	23.7	24	23.7	20	19.5	20.2	19.5	23.85	19.90000	3.95000	0.102801733
Viernes/	11:41:10	24.9	24.9	25.1	24.7	20.2	19.5	20.4	20.5	24.9	20.03333	4.86667	0.083438393
Viernes/	11:42:10	25.6	25.6	25.8	25.4	20.4	19.5	20.7	20.7	25.6	20.20000	5.40000	0.075197564
Viernes/	11:43:10	26.1	26.1	26.5	25.8	20.4	19.7	20.9	24.2	26.125	20.33333	5.79167	0.070112261
Viernes/	11:44:10	26.5	26.5	27	26.5	20.7	19.7	21.1	19.7	26.625	20.50000	6.12500	0.066296628
Viernes/	11:45:10	27	27	27.5	26.8	20.9	19.7	21.1	19.7	27.075	20.56667	6.50833	0.062391833
Viernes/	11:46:10	27.2	27.2	27.7	27	20.9	19.7	21.4	24.7	27.275	20.66667	6.60833	0.061447694
Viernes/	11:47:10	27.5	27.5	28	27.2	20.9	19.7	21.4	20.7	27.55	20.66667	6.88333	0.058992762
Viernes/	11:48:10	27.5	27.7	28.2	27.5	20.9	19.7	21.6	26.3	27.725	20.73333	6.99167	0.058078691
Viernes/	11:49:10	27.7	28	28.2	27.5	20.9	19.7	21.6	21.1	27.85	20.73333	7.11667	0.057058573
Viernes/	11:50:10	27.7	28	28.4	27.5	20.9	20	21.6	21.6	27.9	20.83333	7.06667	0.05746229
Viernes/	11:51:10	27.7	28	28.4	27.7	20.9	19.7	21.6	24.9	27.95	20.73333	7.21667	0.056267923
Viernes/	11:52:10	27.7	28	28.4	27.7	20.9	19.7	21.6	20.7	27.95	20.73333	7.21667	0.056267923
Viernes/	11:53:10	28	28.2	28.4	27.7	20.9	19.7	21.6	21.1	28.075	20.73333	7.34167	0.0553099
Viernes/	11:54:10	28	28.2	28.4	27.7	20.9	19.7	21.6	26.1	28.075	20.73333	7.34167	0.0553099
Viernes/	11:55:10	28	28.2	28.7	27.7	20.9	19.7	21.6	20.9	28.15	20.73333	7.41667	0.054750586
Viernes/	11:56:10	28	28.2	28.7	28	21.1	19.7	21.8	20.9	28.225	20.86667	7.35833	0.055184622
Viernes/	11:57:10	28	28.2	28.7	28	21.1	19.7	21.6	20.9	28.225	20.80000	7.42500	0.054689138
Viernes/	11:58:10	28.2	28.4	28.9	28	21.1	19.7	21.8	20.2	28.375	20.86667	7.50833	0.054082155
Viernes/	11:59:10	28.2	28.4	28.9	28	21.1	20	21.8	26.5	28.375	20.96667	7.40833	0.054812173
Viernes/	12:00:10	28.2	28.4	28.9	28.2	21.1	19.7	21.8	20.2	28.425	20.86667	7.55833	0.05372439
Viernes/	12:01:10	28.2	28.4	28.9	28	21.1	19.7	21.8	26.5	28.375	20.86667	7.50833	0.054082155
Viernes/	12:02:10	28.2	28.4	28.9	28.2	21.1	19.7	21.8	20.2	28.425	20.86667	7.55833	0.05372439
Viernes/	12:03:10	28.2	28.4	28.9	28.2	21.1	19.7	21.8	22.1	28.425	20.86667	7.55833	0.05372439
Viernes/	12:04:10	28.2	28.4	28.9	28.2	21.1	19.7	21.8	24.7	28.425	20.86667	7.55833	0.05372439
Viernes/	12:05:10	28.2	28.4	28.9	28.2	21.1	19.7	21.8	20.7	28.425	20.86667	7.55833	0.05372439
Viernes/	12:06:10	28.4	28.7	28.9	28.2	21.1	19.7	21.8	26.5	28.55	20.86667	7.68333	0.052850349
Viernes/	12:07:10	28.4	28.7	28.9	28.2	21.1	19.7	21.8	20.9	28.55	20.86667	7.68333	0.052850349
Viernes/	12:08:10	28.4	28.7	28.9	28.2	21.1	20	21.8	20.2	28.55	20.96667	7.58333	0.053547276
Viernes/	14:37:10	28.4	28.7	28.9	28.2	21.1	20	21.8	20.4	28.55	20.96667	7.58333	0.053547276
Viernes/	14:38:10	28.4	28.7	28.9	28.2	21.1	20.2	21.8	24.7	28.55	21.03333	7.51667	0.054022197
Viernes/	14:39:10	28.4	28.7	28.9	28.2	21.1	20.2	21.8	20.4	28.55	21.03333	7.51667	0.054022197
Viernes/	14:40:10	28.4	28.7	28.9	28.2	21.1	20	22.1	23.7	28.55	21.06667	7.48333	0.05426283

PROMEDIO=	0.054674157
	k = W/m ²

Poliéster

ANEXO 3

MEDICIÓN DE CUBOS TÉRMICOS

GRÁFICAS DE LA MEDICIÓN 1

CON EL PARAMENTO PRINCIPAL SIN RADIACIÓN SOLAR DIRECTA.

Resultó interesante observar el comportamiento de las tres superficies ante la incidencia de calor radiado por la azotea, radiación difusa e indirecta, de las cuales no se tiene estimada su magnitud, debido a la carencia de instrumental, pero se presentan las mediciones comparativas entre los tres cubos, que en sí mismas dejan ver un comportamiento diferenciado ante una fuente de radiación que en esta prueba no fue directa.

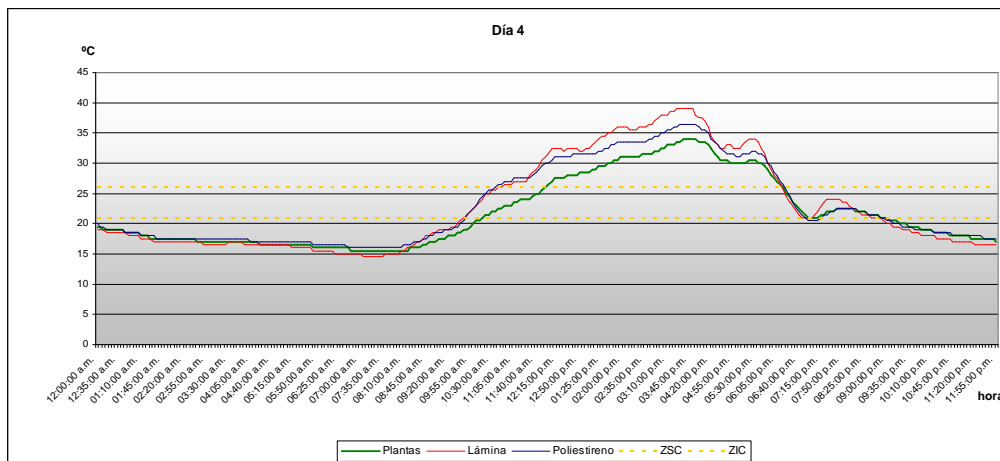


Colocación de cubos orientados al sur.

Día 4

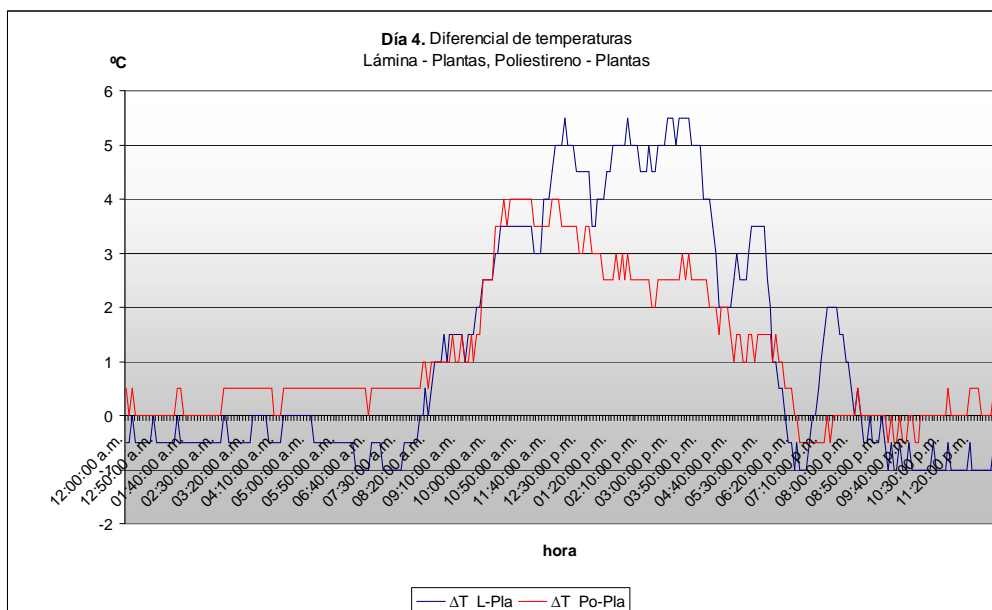
14/06/2010

En este día se repite el patrón del día 3, presentándose curvas con un desarrollo casi simétrico, siempre con menos ganancia por parte de la planta durante el día y con temperaturas casi iguales para los tres cubos durante la noche (Gráfica 4.99).



Gráfica 4.99.

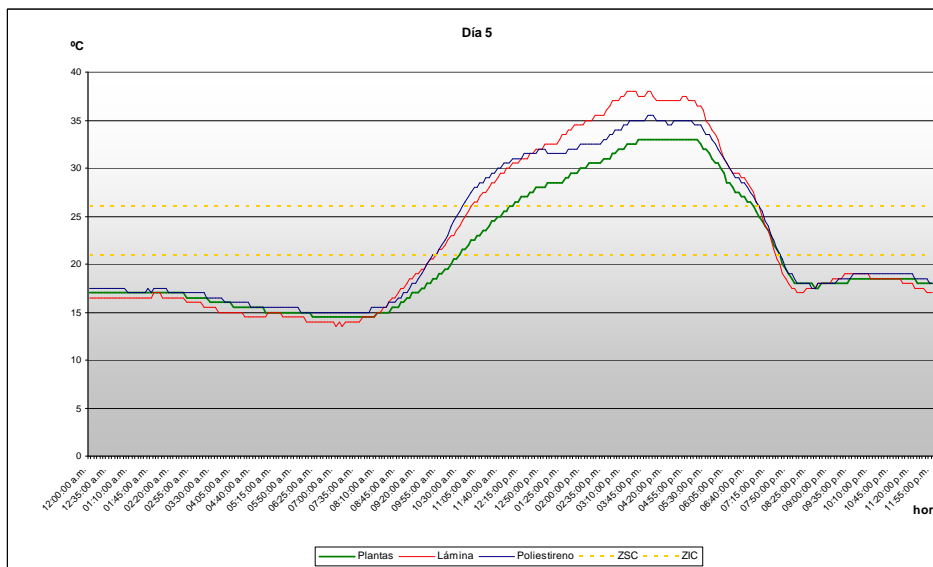
Los diferenciales de temperatura son muy similares los del día precedente. Hacemos notar que el diferencial de S3 con respecto a S1 se desarrolla casi igual al de S2 respecto a S1, hasta las 11:00 hrs, posteriormente aumenta el diferencial entre S2 y S1 llegando a los 5.5 K (Gráfica 4.100).



Gráfica 4.100.

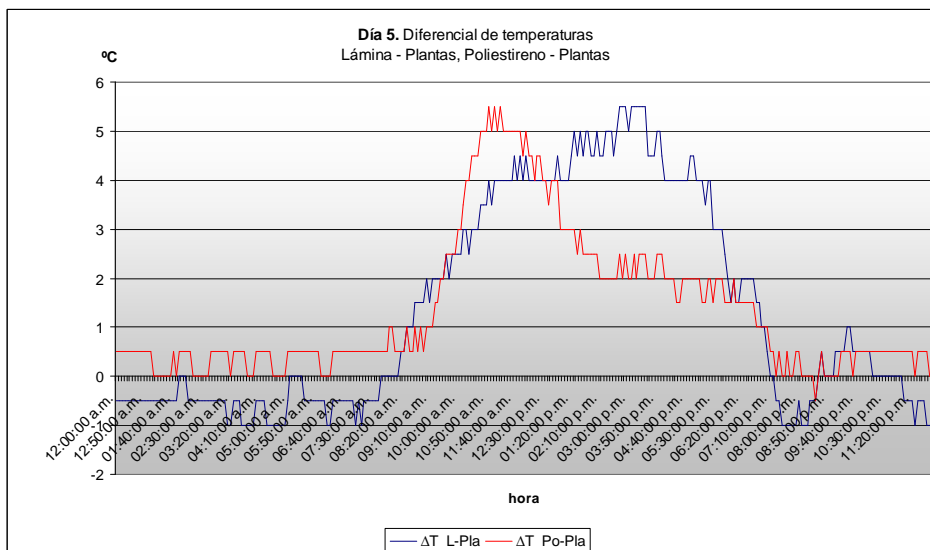
Día 5 15/06/2010

Se aprecia en este día que por unos lapsos el poliestireno gana calor con mayor velocidad incluso que la lámina. La S1 siempre se mantiene por debajo de las otras dos curvas. La temperatura de la capa superficial interior de la S2 llega hasta los 38°C, cuando la de S3 llega a los 35°C, mientras que la máxima de la S1 llega a los 33°C a la misma hora (Gráfica 4.101).



Gráfica 4.101..

Los diferenciales de temperatura se presentan de manera muy similar al de los días precedentes, lo que permite observar un patrón de comportamiento recurrente (Gráfica4.102).

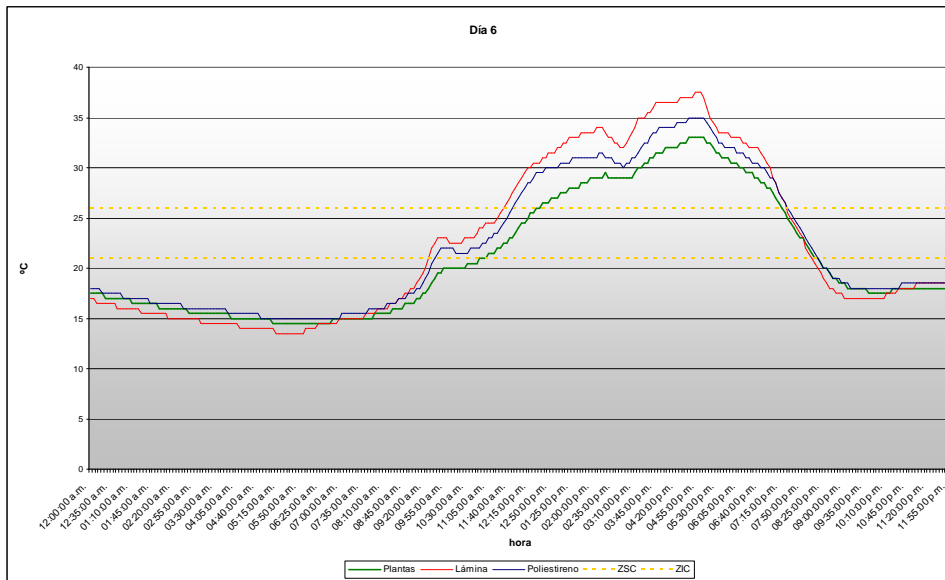


Gráfica 4.102.

Día 6

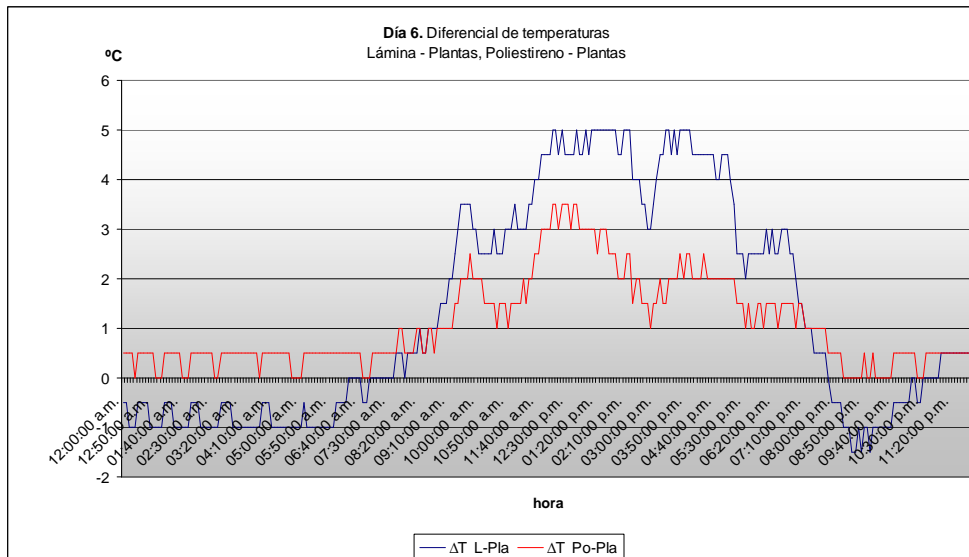
16/06/2010

El patrón de comportamiento de las temperaturas es muy similar al de los demás días. Se observa la variante en esta gráfica de un valle a las 14:00 hrs, por el descenso de la temperatura, que nos permite observar cómo la temperatura del poliestireno y de la lámina bajan en un pico más repentino, mismo periodo en el que la S2 mantuvo una estabilidad lineal, lo que permite observar cualidades de amortiguamiento térmico (Gráfica 4.103).



Gráfica 4.103.

Los diferenciales de temperatura se incrementan y decrecen durante el transcurso del día, pero se mantienen con magnitud positiva durante el día. Se conserva el diferencial positivo para el poliestireno y negativo para la lámina. Lo que nos evidencia que el oliestireno conserva más el calos durante la noche, y la lámina permanece más fría que la superficie con plantas en la noche (Gráfica 4.104).



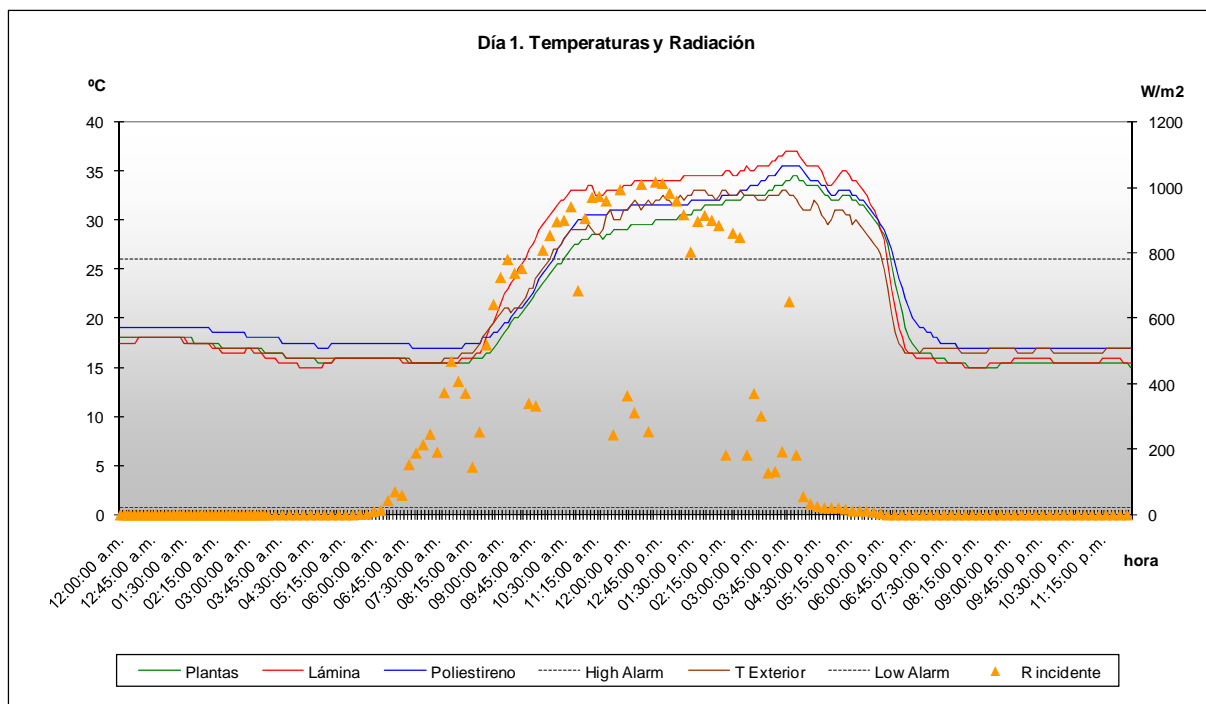
Gráfica 4.104

GRÁFICAS DE LA MEDICIÓN 2

PARAMENTO PRINCIPAL AL NORTE EN JUNIO

Día 1
19/06/2010

En la lectura de datos de las 24:00, hasta las 4:30 hrs. la superficie con plantas (S1) se conserva de 0.5°C a 1°C más caliente que la superficie de lámina (S2) durante más momentos que los lapsos donde la temperatura de S1 es igual a la de S2. Después de las 4:30 hrs. se igualan las temperaturas de la superficie S1 y la S2, hasta las 8:00 en que se comienza a recibir radiación en las superficies. A partir de este momento, las curvas de ganancia por radiación se incrementan. La curva de la superficie de lámina crece de manera más acelerada que la del poliestireno, la T exterior y la planta, hasta un punto en que la temperatura interior se estabiliza en los tres cubos y la curva se incrementa de manera muy horizontal. En este lapso de las mediciones las curvas se desarrollan de manera prácticamente paralela, siempre conservándose más alta la temperatura en la lámina. A partir de las 17:00 hrs. la curva comienza a declinar. Las temperaturas de la S1, se desarrolla de manera paralela a la de la T exterior. La curva del poliestireno cae de manera más suave y se conserva sobre las demás. La curva de S2 hace un cruce para descender más que las otras tres temperaturas. La temperatura en S1, a partir de las 16:00, se mantiene más estable que la T exterior y así continúa, aunque cada vez reduciendo el diferencial de temperatura, hasta las 20:00. Este efecto se debe muy probablemente al calentamiento que recibe la planta por el sol, que contribuye a que el calor interior se ceda más lentamente al exterior (Gráfica 4.78).

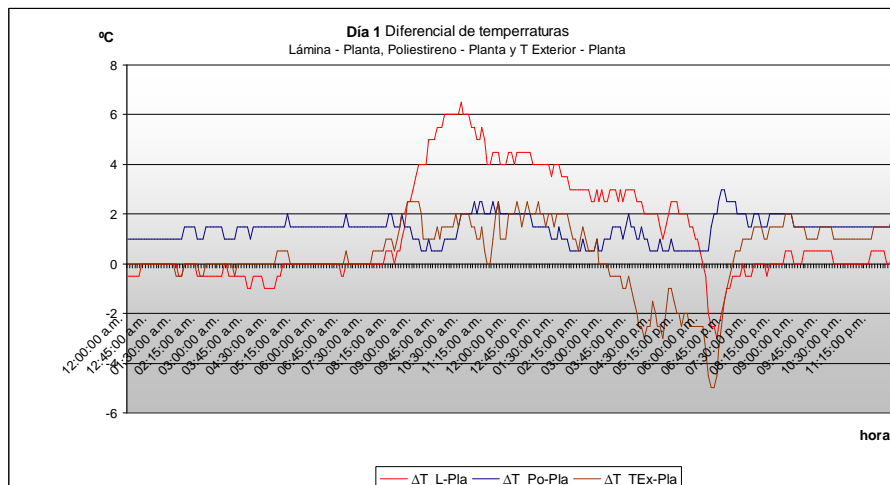


Gráfica 4.78.

Se obtuvieron los diferenciales de temperatura existentes entre la Superficie de Lámina y la de Plantas (ΔT L- Pla), restando las temperaturas horarias de la primera a la segunda. Asimismo se obtiene ΔT Po- Pla, restando la temperatura de la superficie del Poliestireno a la de las Plantas. Finalmente se obtuvo (ΔT TEx - Pla) que resta las temperaturas exteriores a la superficie de las plantas.

Para esta relación, los valores negativos significan que el primer material de relación está más frío que el segundo, en la gráfica corresponden a las curvas situadas por debajo del valor cero. En correlación, cuando el valor es positivo el primer material de referencia está más caliente que el segundo. Le corresponde una curva sobre el cero. En los dos casos la magnitud del diferencial lo marca la escala de valores en “Y”.

De esta manera, para el Día 1, el desarrollo de (ΔT L- Pla) desde las 24:00 hrs, y antes de las 8:00 hrs, es constante manteniéndose más fría S1 que S2 durante más tiempo. A partir de las 8:00 hrs. en que se presenta radiación se incrementa el diferencial con rapidez hasta alcanzar su cúspide a las 11:00 hrs, momento a partir del cual se comienza a reducir la magnitud de ΔT . en esta gráfica se presenta un enfriamiento repentino de S1 y el diferencial extremo entre ésta y S2 a las 18:00 hrs, que no se presenta en las demás gráficas, probablemente debido a la incidencia de lluvia. El resto de la noche y hasta las 11:50 hrs S2 se mantiene en algunos lapsos 0.5 grados por encima de S1 y en otros con diferencial cero. En este mismo lapso, la temperatura exterior fue siempre mayor a la de S1 a lo que se puede atribuir que la lámina estuviera más caliente que las plantas, al transmitir con más rapidez la T exterior. El diferencial de temperatura entre la superficie de poliestireno (S3) y S2 es siempre estable y de magnitud positiva (Gráfica 4.79).

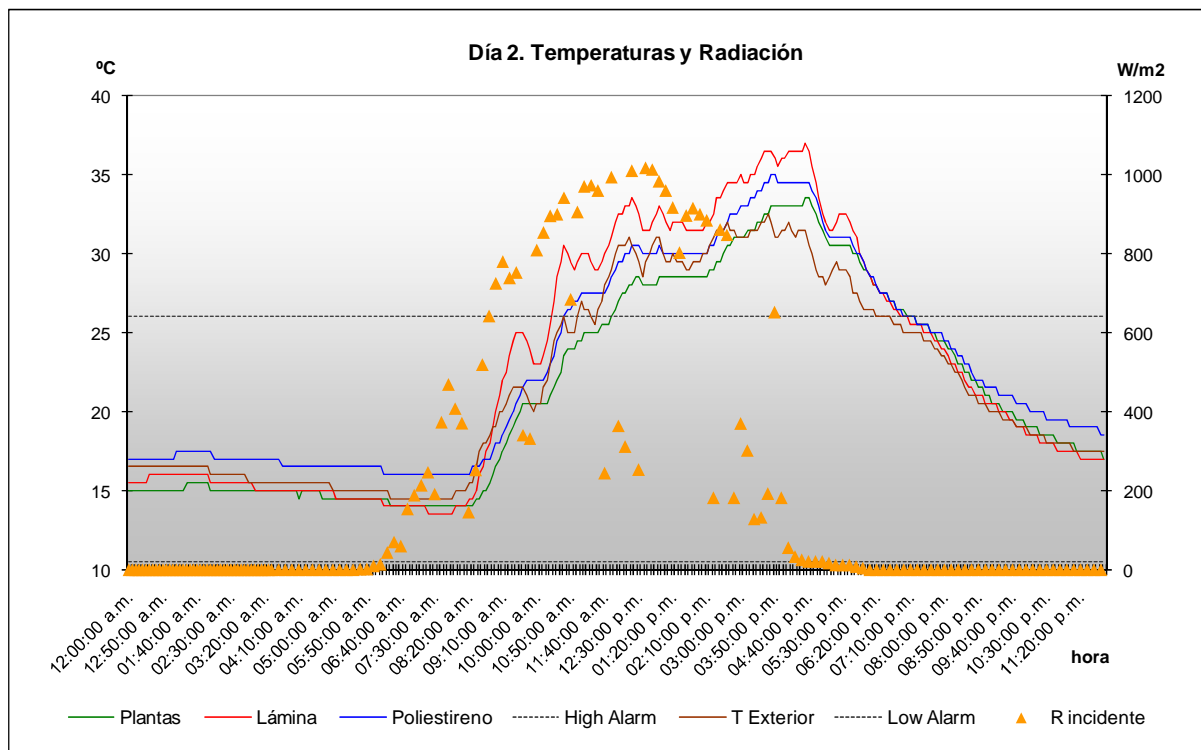


Gráfica 4.79.

Día 2 20/06/2010

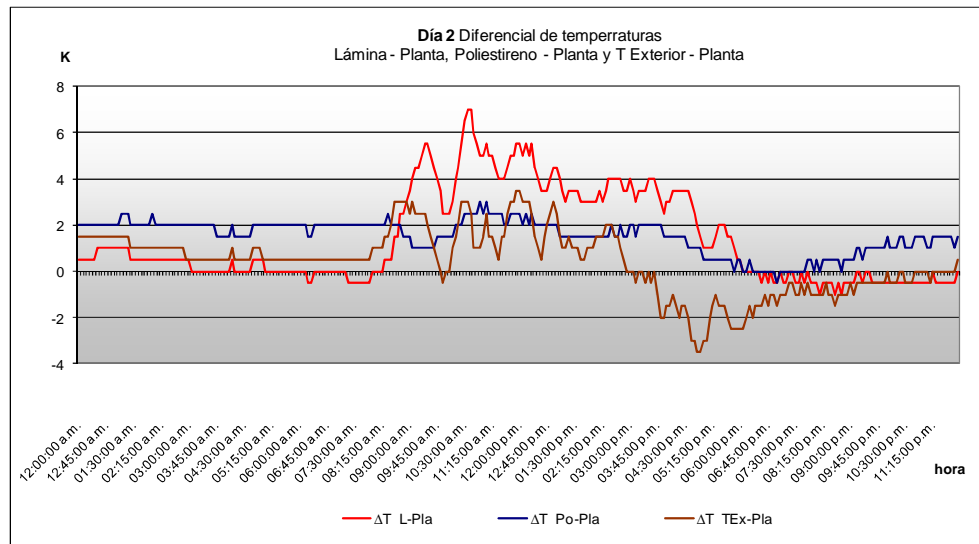
En esta gráfica se puede observar un comportamiento paralelo de las curvas de las cuatro mediciones de las 24:00 hrs, hasta el momento en que presenta la radiación a las 8:00 hrs. A

partir de este momento la curva de la lámina se incrementa siempre con más velocidad. En este caso todas las temperaturas tienen caídas repentinas e incrementos que recuperan la tendencia creciente. Se puede observar que el incremento más estable de la temperatura es el de la S1, que no presenta las crestas aserradas antes de llegar a la temperatura máxima de ganancia. Existe un cruce a las 15:20 hrs. en que la T ext. Desciende con mayor velocidad la curva de S2 desciende más rápido que las otra tres, seguida por la curva descendiente de S1. La temperatura que se cede al exterior con más lentitud es la de S3. (Gráfica 4.80).



Gráfica 4.80.

Los diferenciales de temperatura correspondientes al día 2 muestran que la temperatura exterior se mantuvo desde las 24:00 hrs por encima de S1, de manera estable hasta las 8:00 hrs. en que se incrementa. Igualmente la temperatura de S2 se mantiene por encima de S1 en este mismo periodo, debido seguramente a la mayor velocidad de conducción de la T ext por parte de la S2. durante el día, y hasta las 16:00 hrs., la temperatura exterior se mantiene por encima de S1, posteriormente se enfría más que ésta, y va recuperando temperatura acortando el diferencial. Delta T respecto de S3 se mantiene estable hasta las 19:00 hrs en que se reduce, para recuperar paulatinamente esta proporción conforme avanza la noche. (Gráfica 4.81).

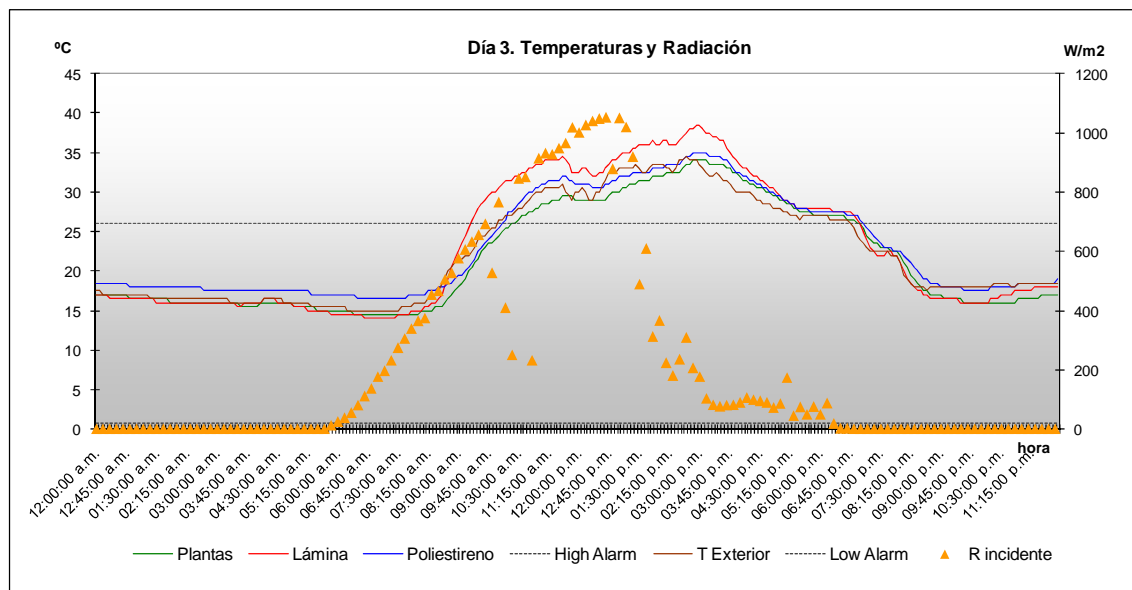


Gráfica 4.81.

Día 3

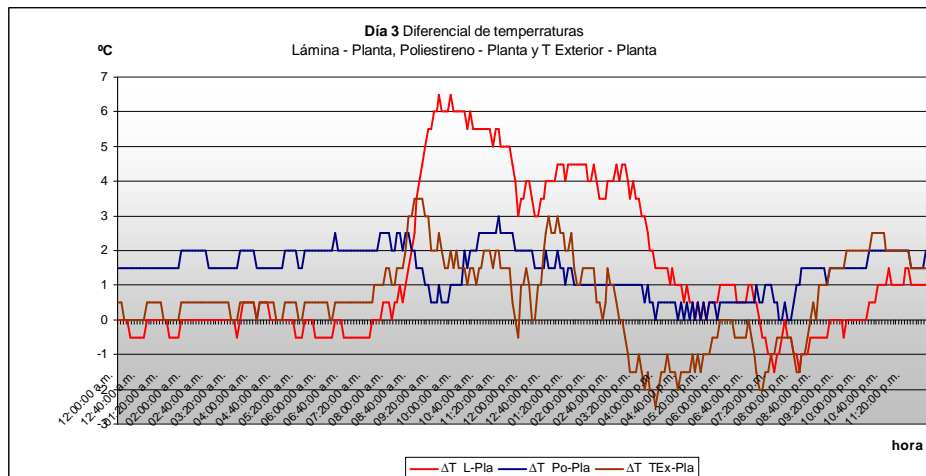
21/06/2010

En el tercer día se presenta un patrón de comportamiento similar al de los días precedentes, donde la curva correspondiente a S2 es siempre la de desarrollo mayor en magnitud y velocidad. Hacemos destacar en esta gráfica que durante el período en que se tiene radiación incidente sobre las fachadas noreste, la temperatura de S1 fue siempre la más baja, atribuible en este caso a su efecto de sombreo. Ya sin la incidencia de la radiación, las curvas declinan de manera paralela hasta las 21:00 hrs. en que la temperatura tiene un incremento que afecta sólo el comportamiento de la S2. las temperaturas de S1 y S3, se mantienen estables, ganando calor a razón de 0.5°C por cada hora (Gráfica 4. 82).



Gráfica 4.82.

Durante el día 3 se presentan diferenciales de temperatura similares a los anteriores días. Hacemos notar para este caso que el diferencial de temperatura de la temperatura exterior con S1 presenta un desarrollo muy irregular, presentando altas y bajas constantes durante el día y la noche. Durante el día siendo más caliente que S1 y durante la noche manteniéndose más fría que S1 hasta las 9:20, momento en que probablemente la planta ya perdió el calor almacenado durante el día. Hacemos notar que contrastando la gráfica de diferenciales contra la de temperaturas, la curva de incremento de temperatura de S1 es muy uniforme, y no deja ver los picos del diferencial, que son aportados por la oscilación de la temperatura exterior. este comportamiento permite ver un efecto de retardo térmico aportado por la vegetación en S2. (Gráfica 4.83).



Gráfica 4.83.

Día 4

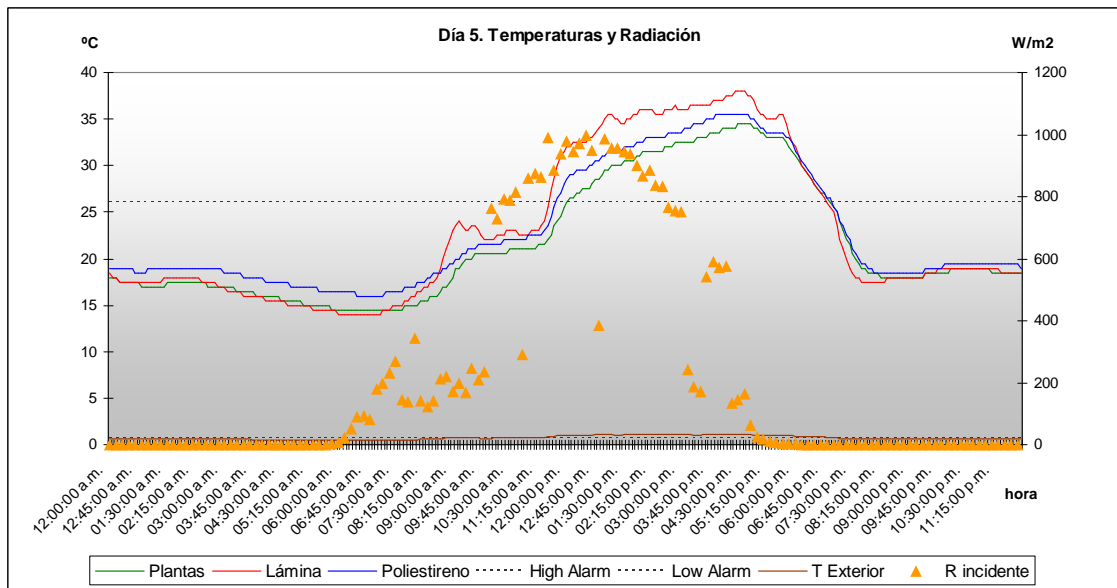
22/06/2010

SE PRESENTÓ EN EL CUERPO DEL TEXTO COMO EJEMPLO CARACTERÍSTICO.

Día 5

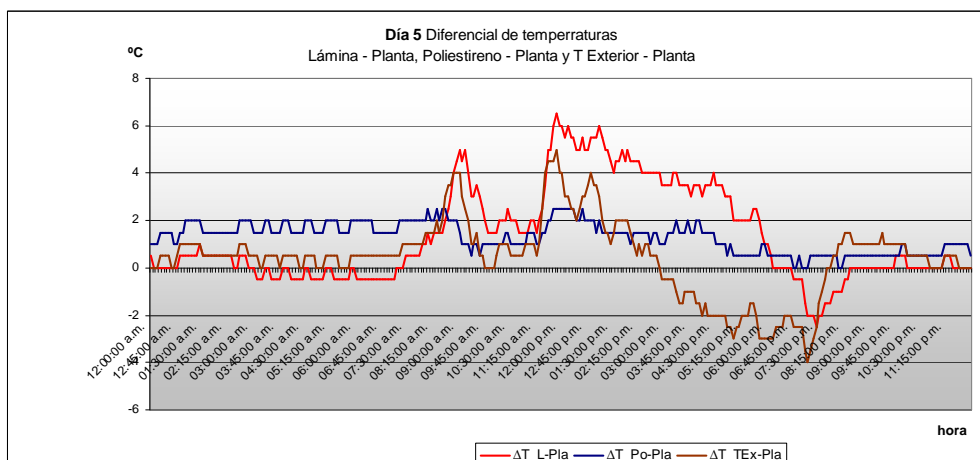
23/06/2010

En esta gráfica destaca el comportamiento de las temperaturas a las 10:00 hrs, en que se detiene su incremento para desarrollarse de manera casi horizontal hasta las 12:00 hrs, en que retoma su pendiente. Aun cuando la temperatura exterior tendió a estabilizarse, S1 y S3 continuaron incrementándose de manera uniforme. Nuevamente se observa el patrón casi simétrico de la curva de S1 con la de la T exterior. (Gráfica 4.86).



Gráfica 4.86.

Los diferenciales de temperatura en este día se muestran constantes. Al comenzar la incidencia de radiación la S2 es más caliente que S1, con una curva similar a T ext. La curva de ΔT L-Pla de las 10:30 a las 12:00 hrs, por descenso de la misma temperatura, para luego recuperar su incremento hasta alcanzar su máximo valor a las 13:00 hrs. a partir de las 15:00 hrs los diferenciales de S2 y T ext respecto a S1 decrecen. La T ext. Es más fría que la S1 desde ese momento y hasta las 20:00 hrs. en la gráfica de temperaturas observamos que la T exterior no se incrementó a partir de las 15:00 hrs y descendió a partir de las 17:00 hrs. por esto las superficies comienzan a perder calor. La capacidad de almacenar calor de la planta le permitió mantenerse más caliente que la temperatura ambiente hasta las 20:00 hrs. desde ese momento en adelante, la temperatura de la S1 es menor a la exterior en un rango de 0.5 a 1°C, aún cuando la T ext, tuvo oscilación de hasta 3°C (Gráfica 4.87).

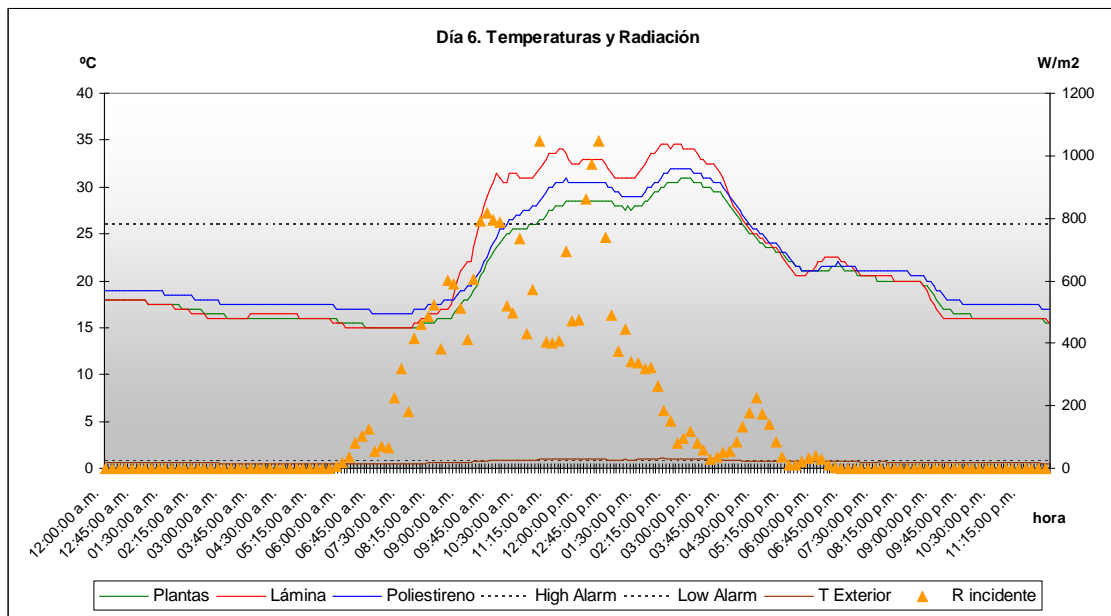


Gráfica 4.87.

Día 6

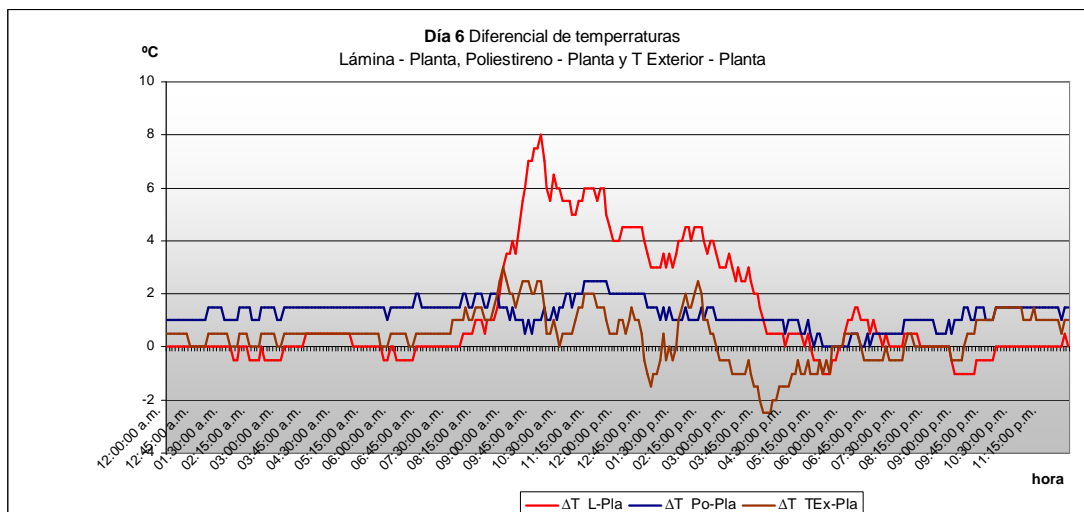
24/06/2010

Las mediciones del día 6 muestran un desarrollo de las curvas de temperatura continuo acorde a los demás días, con un valle, debido al descenso de temperatura, donde todas las curvas descienden de manera paralela. Para recuperar su incremento, hasta las 15:30 en que comienzan a descender. La curva de la S1 se mantiene siempre por debajo de las demás, absorbiendo los picos de las variaciones repentinas de la T exterior, lo que permite ver un efecto de retardo térmico de la S1 (Gráfica 4.88).



Gráfica 4.88.

Los diferenciales de temperatura de la T exterior con respecto a S1 se mantienen en el rango de -2 a 2°C, predominando el diferencial positivo durante el día, aun cuando en este día particular se presentan dos momentos en que la T exterior es más fría que la S1 con un diferencial negativo de 12:00 a 14:00 hrs. y de 15 a 18:00 hrs. (Gráfica 4.89).

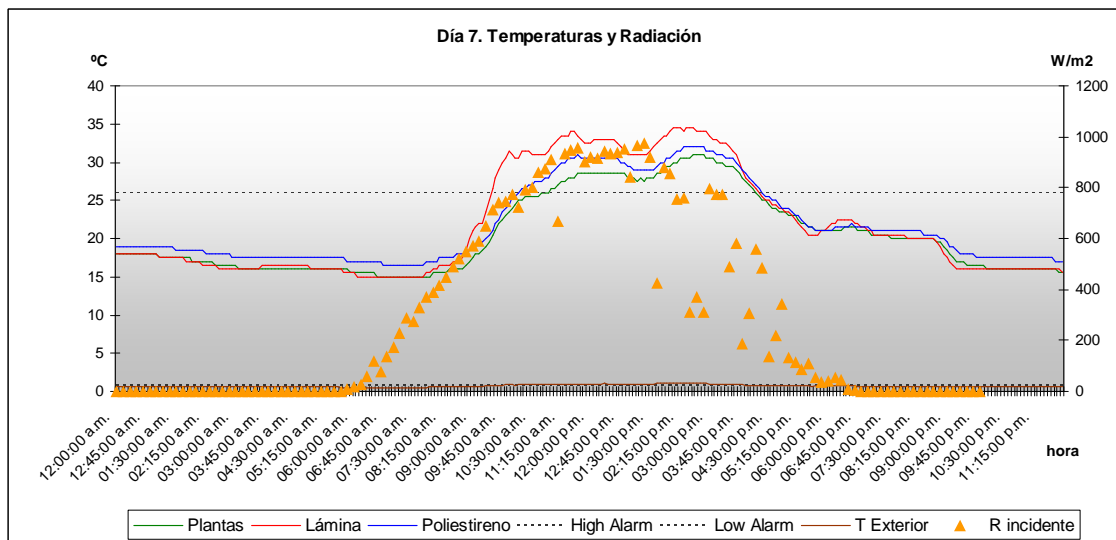


Gráfica 4.89.

Día 7

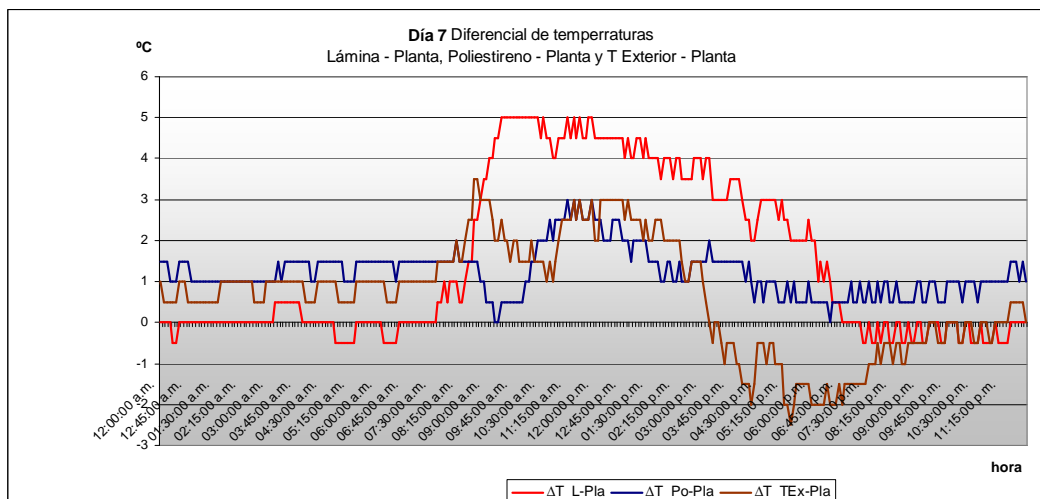
25/06/2010

El día 7 tiene un desarrollo con condiciones de clima más estable. La T exterior tiene una curva constante, llegando a 35°C a las 15:00 hrs., en que comienza su descenso (Gráfica 4.90).



Gráfica 4.90.

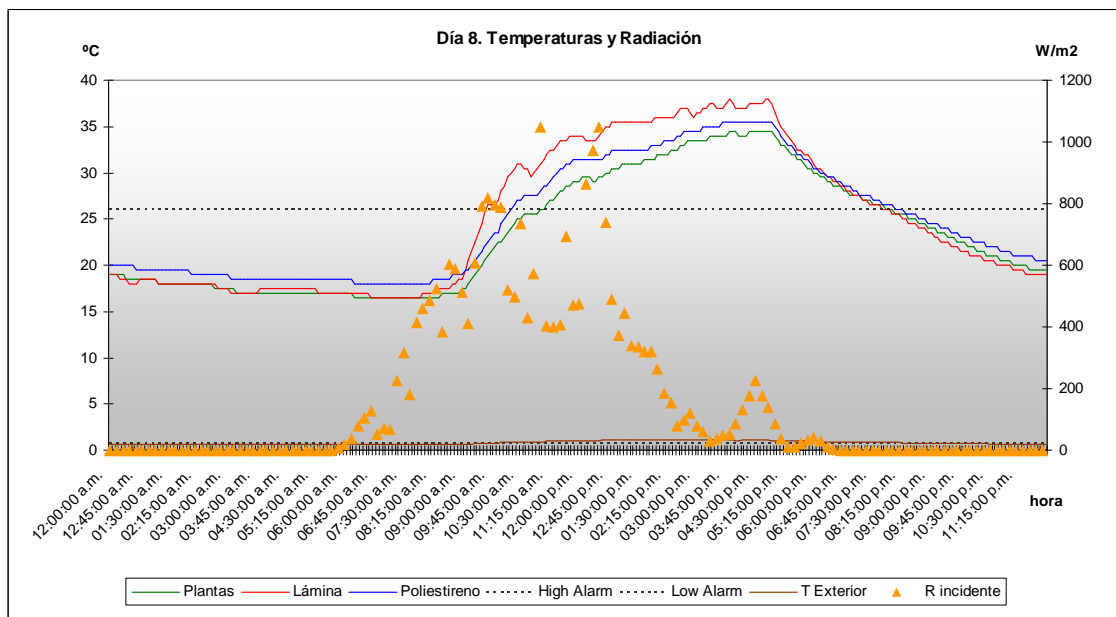
El diferencial de temperatura entre S2 y S1 es positivo durante el día negativo y negativo a partir de las 20:00 hrs., por esto la temperatura de la lámina es menor que la de S1 hasta las 23:00 hrs. Nuevamente se observa la capacidad de la S1 de mantenerse más caliente que la T ext. A partir del momento en que comienza a descender la temperatura y hasta las 21:45 hrs. (Gráfica 4.91).



Gráfica 4.91

Día 8 26/06/2010

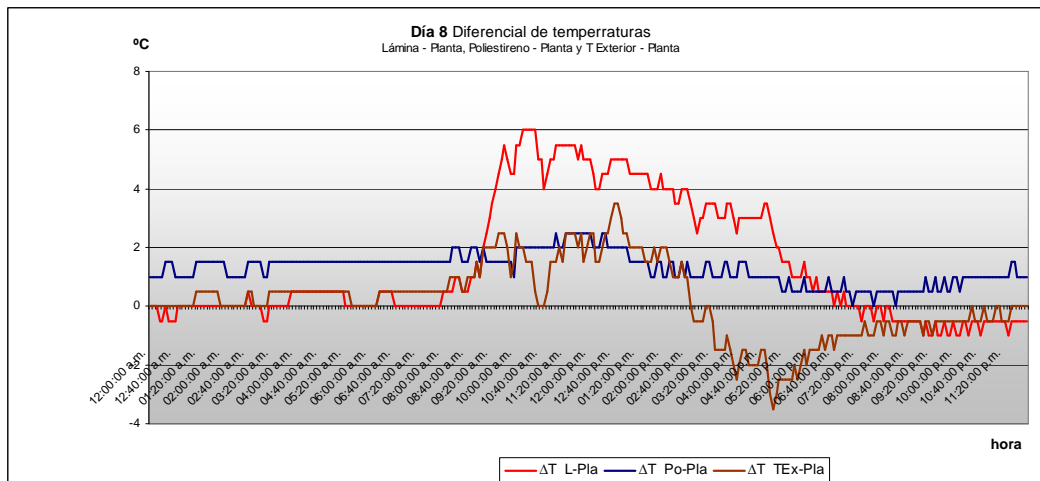
Durante el día 8 el incremento de la temperatura en la S2 fue mayor en magnitud y en menor tiempo. El desarrollo de la curva de S1 es nuevamente más estable y lineal. La temperatura de la planta se mantuvo más baja que las demás. Durante la noche se mantiene ligeramente por encima de las otras excepto de la S3 (Gráfica 4.92).



Gráfica 4.92.

Los diferenciales de temperatura en el día 8 permiten ver el comportamiento constante de los demás días. Un diferencial positivo de la T ext, respecto de S1 durante el día, un diferencial positivo y alto en magnitud (hasta de 6 K) entre S2 y S1, y en diferencial positivo a favor de S3 durante todo el periodo de duración del día. En este caso el diferencial negativo de T ext.

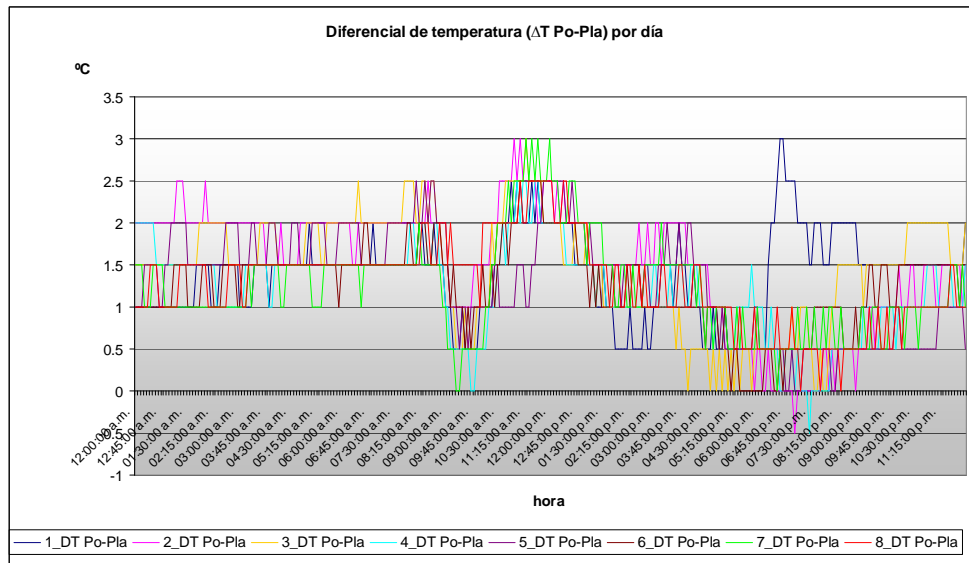
Respecto a S1 se presenta desde que deja de incidir la radiación sobre la fachada noreste, y hasta las 23:00 hrs, para una temperatura exterior de 19°C (Gráfica 16).



Gráfica 4.93.

Diferencial de temperatura Poliestireno - Plantas

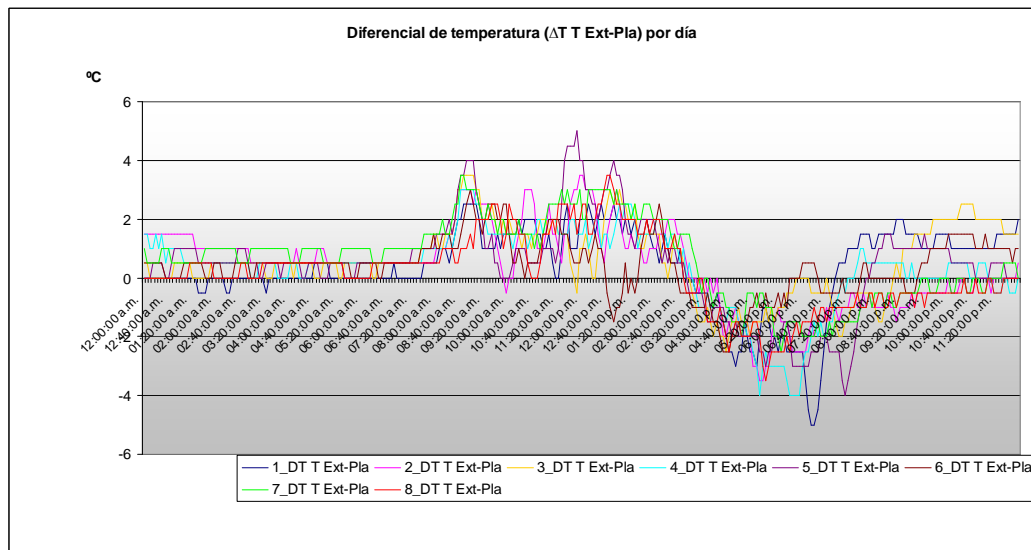
Al concentrar los diferenciales de temperatura del periodo de medición completo, podemos apreciar que se siguen tendencias estables, de las que se desfasa en algunos picos la medición del primer día. Con esta tendencia se puede resumir que durante el día el diferencial de temperatura entre S3 y S2 es mayor, tomando en cuenta que las temperaturas de la S1 se mantiene por debajo de la de S3. el diferencial se reduce en las tardes de 16:00 a 21:00 hrs y aumenta nuevamente, variando entre 0.5 y 2 K a partir de las 21:30 hrs y hasta las 8:00 hrs. Esto se debe a que al ser el poliestireno un aislante, el calor que ganó durante el día, lo puede conservar mejor que los otros dos materiales durante la noche (Gráfica 4.95).



Gráfica 4.95. ΔT de Poliestireno – Plantas en los 8 días medidos.

Diferencial de temperatura T Exterior - Plantas

A partir de las 8:00 hrs. en que se tiene incidencia de radiación, el diferencial de temperatura de T ext. En referencia a S1 es positivo, incrementándose hasta alcanzar su sima hacia las 11:00 hrs, a partir de donde se reduce el diferencial, conservándose siempre positivo hasta las 15:00 hrs. en que se invierte la relación, y se conserva negativo hasta las 21:00 hrs, en que aumenta a una relación de 1.5 a 2 K en magnitud positiva. Posteriormente se reduce el diferencial a un rango de 0.5 K desde las 24:00 hrs, y hasta las 8:00 hrs (Gráfica 4.96).



Gráfica 4.96. ΔT de T Exterior – Plantas en los 8 días medidos.

Gráficas de la Medición 3. Paramento principal horizontal.

Día 1

18/07/2010

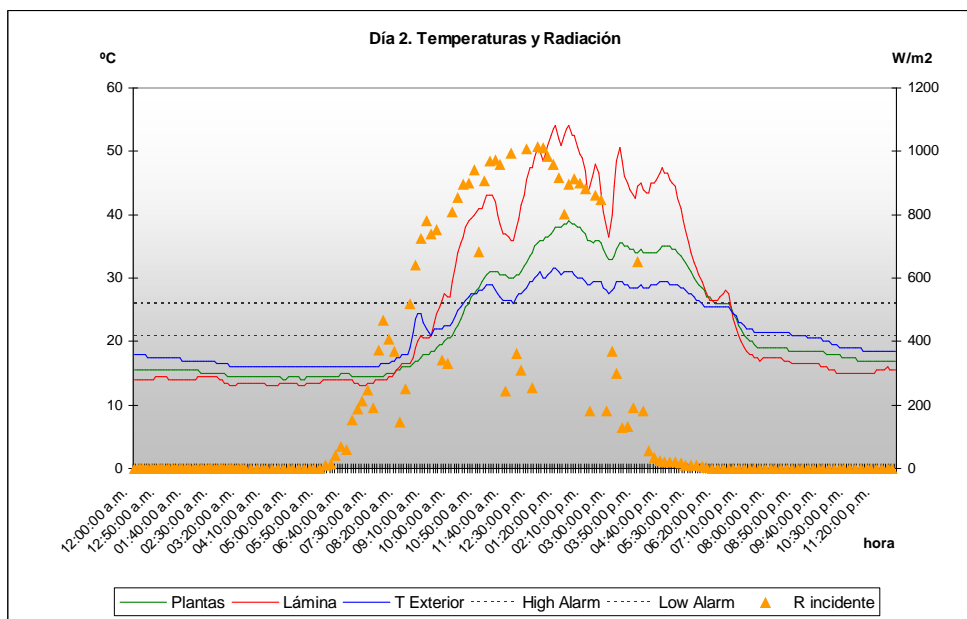
PRESENTADO PREVIAMENTE EN EL CUERPO DEL DOCUMENTO

Día 2

19/07/2010

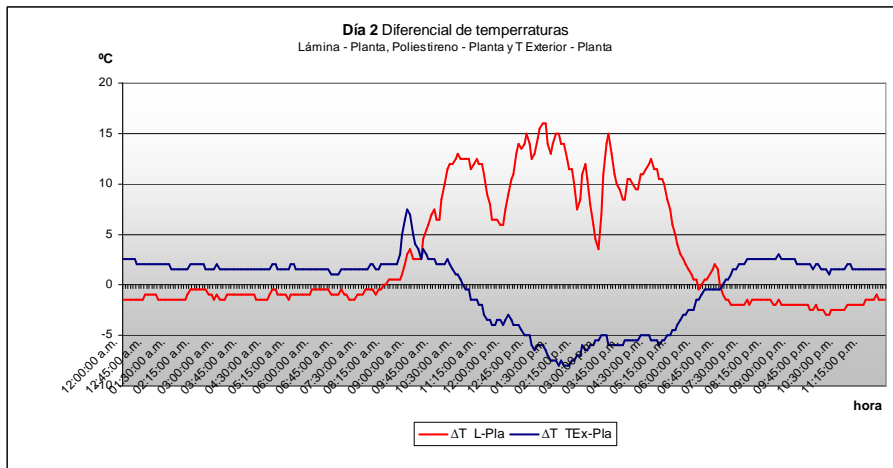
Inicio de lecturas a las 00:00:00 hrs.

La curva de la superficie con plantas (S1) tiene un desarrollo similar al del día anterior. La S1 tiene un comportamiento casi paralelo con la TBS Ext. manteniéndose siempre por encima de ésta, sin embargo la lámina muestra picos súbitos de incremento de calor y descensos igualmente vertiginosos. La SP es más estable en su comportamiento. En este caso la SP se mantuvo por encima de la SL durante toda la noche, en algunos lapsos hasta 2.5°C. (Gráfica 4.107).



Gráfica 4.107.

El diferencial de temperatura entre la S2 y la S1 llega a ser de 16K durante el día, debido al sombreado que proporcionan las plantas a la superficie. La S1 llega a ser 8 °C más fría que la TBS Ext. durante la noche (Gráfica 4.108).



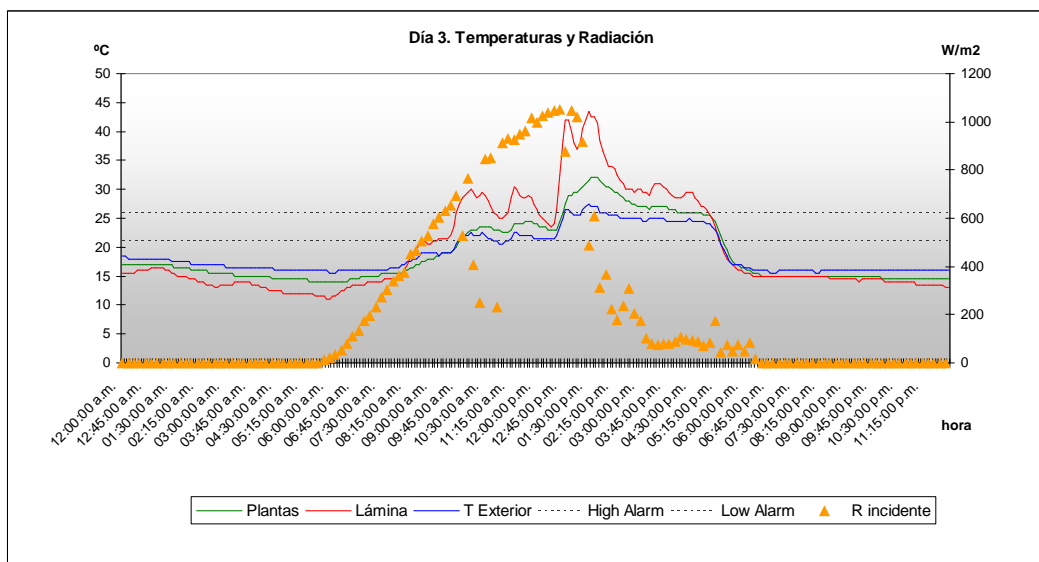
Gráfica 4.108.

Día 3

20/07/2010

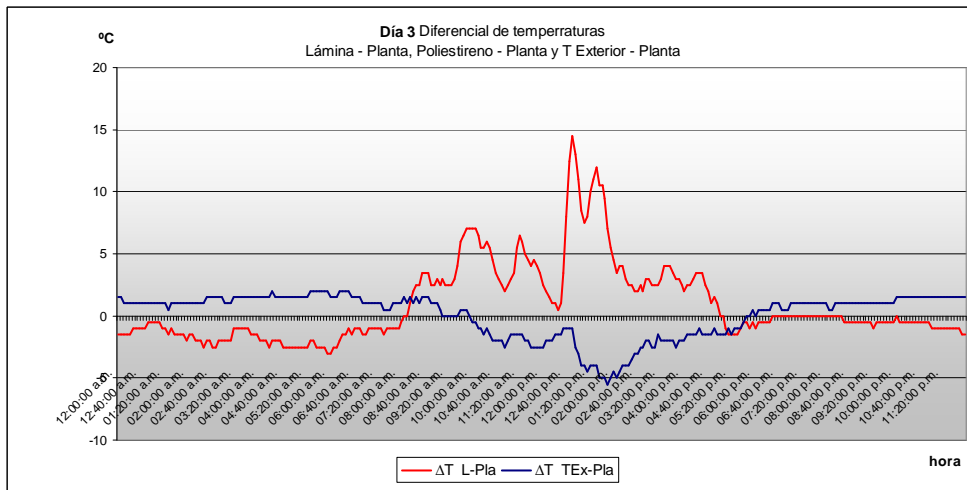
Inicio de lecturas a las 00:00:00 hrs.

La curva de la superficie con plantas (S1) tiene un desarrollo similar al del día anterior. La S1 tiene un comportamiento casi paralelo con la TBS Ext. manteniéndose siempre por encima de ésta, sin embargo la lámina muestra picos súbitos de incremento de calor y descensos igualmente vertiginosos. La S1 es más estable en su comportamiento. En este caso la S1 se mantuvo por encima de la SL durante toda la noche, en algunos lapsos hasta 2.5°C. (Gráfica 4.109).



Gráfica 4.109.

El diferencial de temperatura entre la S2 y la S1 llegan a ser de 16K durante el día, debido al sombreado que proporcionan las plantas a la superficie. La SP llega a ser 8 °C más fría que la TBS Ext. durante la noche (Gráfica 4.110).

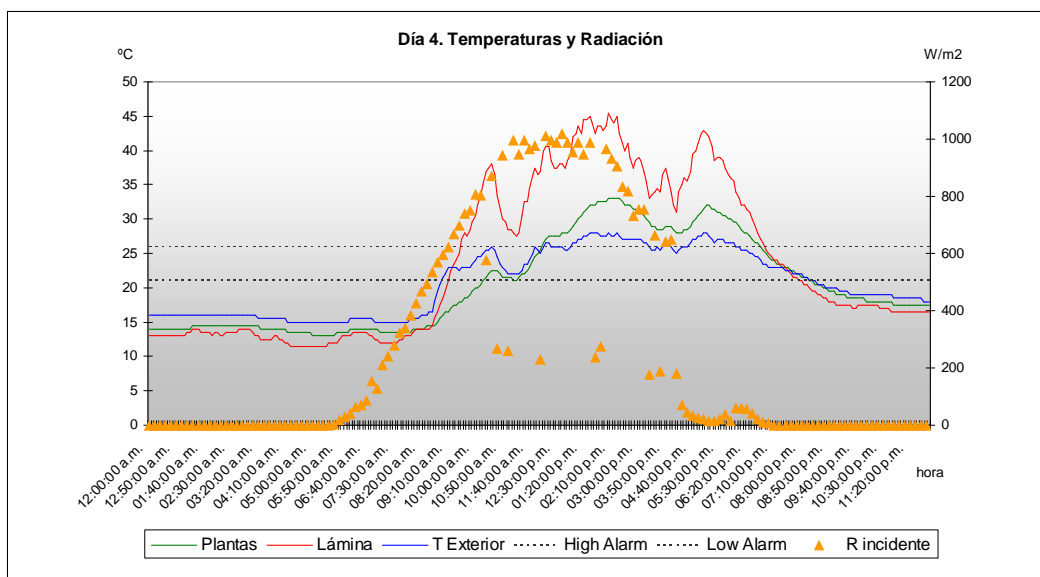


Gráfica 4.110.

Día 4 21/07/2010

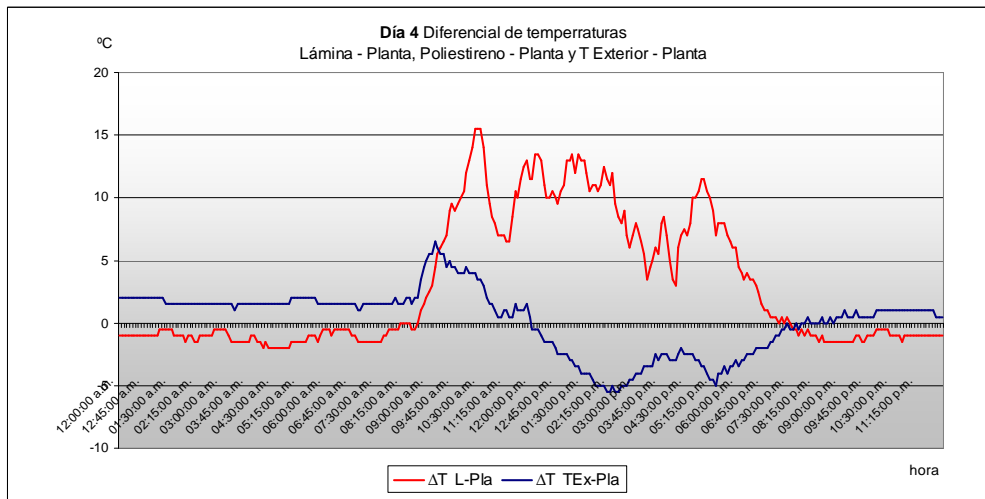
Inicio de lecturas a las 00:00:00 hrs.

Se conserva la tendencia de las tres curvas con respecto al día anterior. La S1 es más estable en magnitudes y en el tiempo que la S2. Durante la noche la TBS Ext se mantiene por encima de las otras dos curvas, y la SP se mantiene siempre sobre la S2, en este mismo periodo. (Gráfica 4.111).



Gráfica 4.111.

A partir de las 9:00 hrs. el diferencial entre la S2 y la S1 siempre supera los 5.5K. llegando a ser de 15.5K. la S2 es en todo momento más caliente que la S1 en el periodo diurno. (Gráfica 4.112).

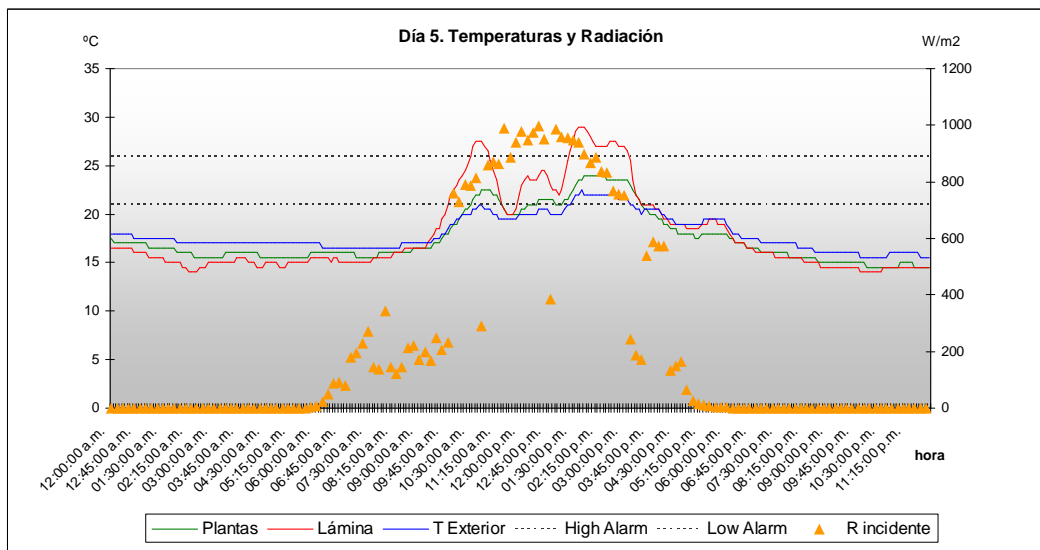


Gráfica 4.112.

Día 5 22/07/2010

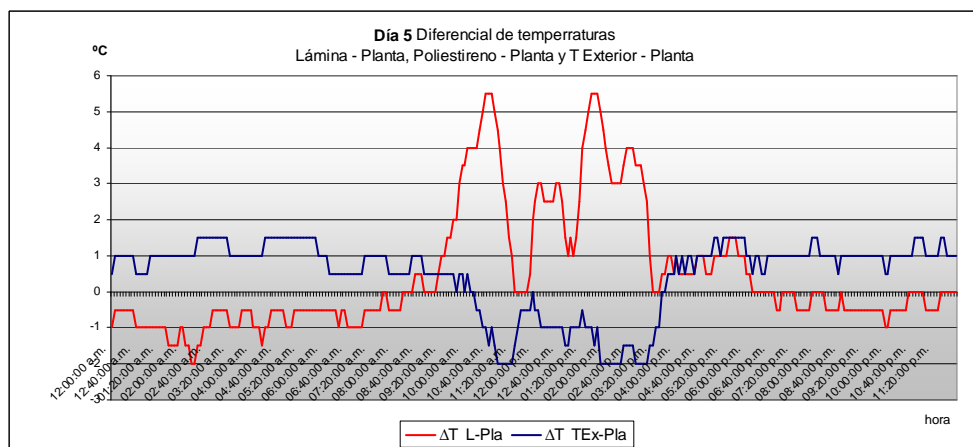
Inicio de lecturas a las 00:00:00 hrs.

Se conserva la tendencia de las tres curvas con respecto al día anterior. (Gráfica 4.113).



Gráfica 4.113.

Los diferenciales de temperatura en este día son menores. En algunos momentos del día los diferenciales se redujeron hasta cero en un breve momento, probablemente por presencia de lluvia. (Gráfica 4.114).

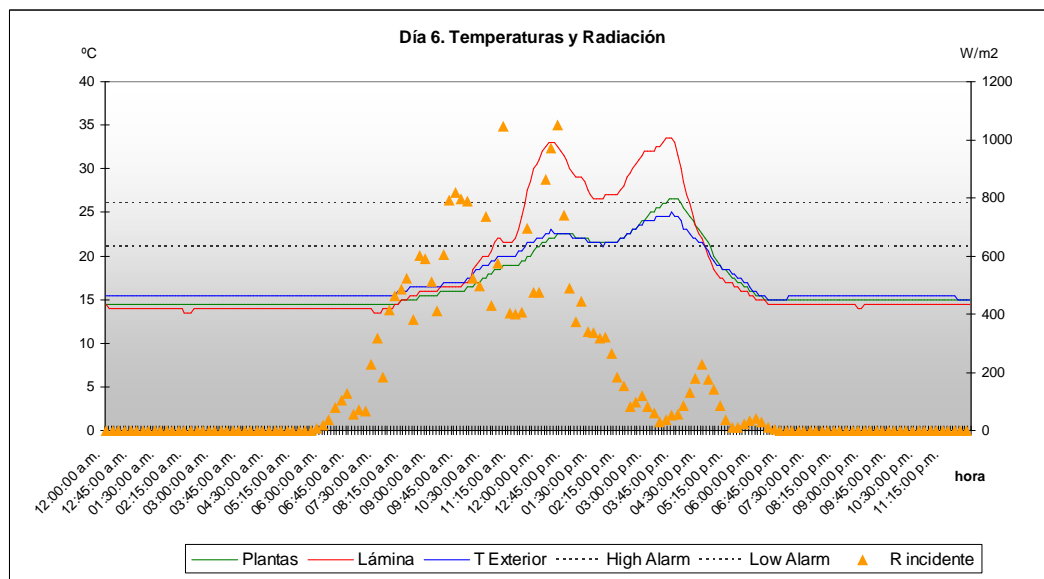


Gráfica 4.114.

Día 6 23/07/2010

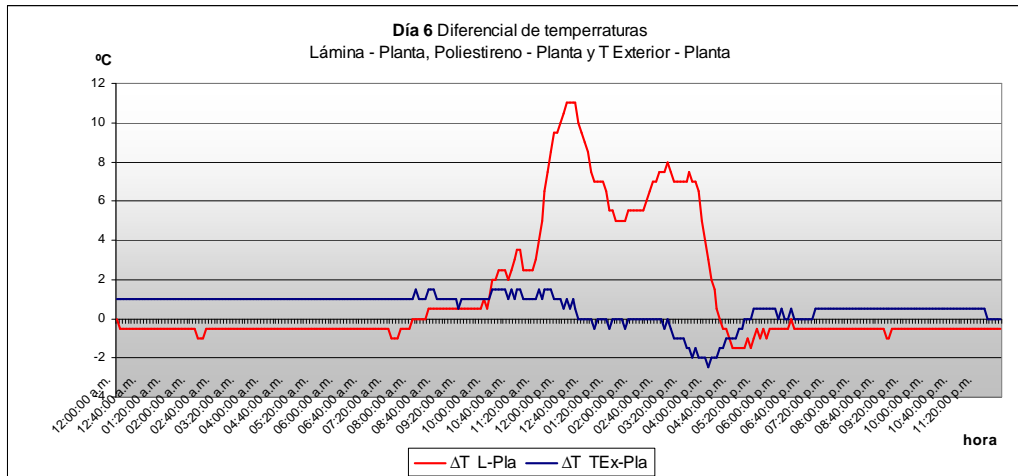
Inicio de lecturas a las 00:00:00 hrs.

En esta gráfica se aprecia que S1 y S2 responden de manera casi paralela a TBS Ext. siempre con mucha más magnitud en menor tiempo la segunda. Se hace notar la estabilidad de TBS Ext. durante la noche. Esta misma estabilidad la presentan S1 y S2, siempre la más fría de las tres en la noche es S2. (Gráfica 4.115).



Gráfica 4.115.

El mayor diferencial de temperatura entre S2 y S1 durante el día es de 11K. (Gráfica 4.116).

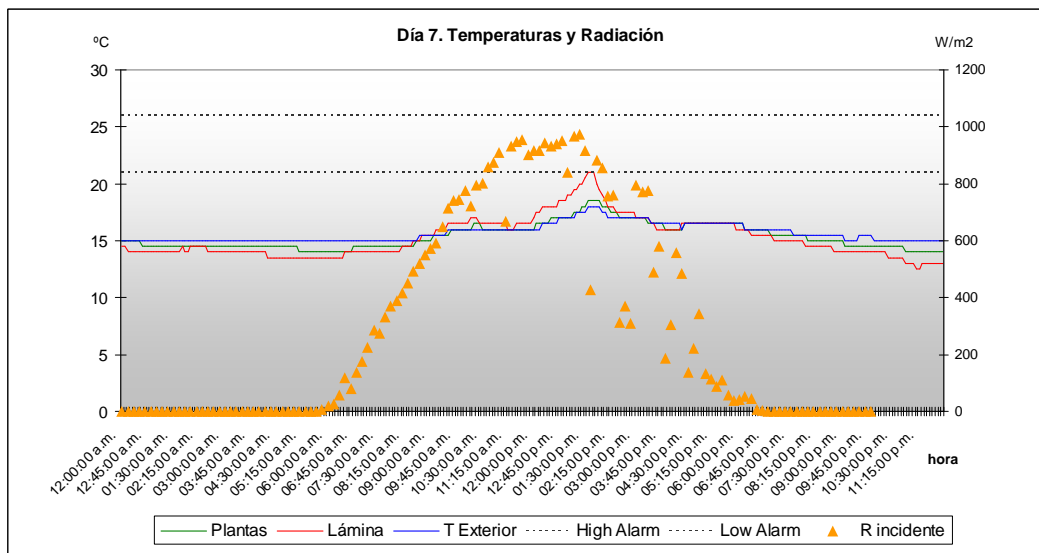


Gráfica 4.116.

Día 7
24/07/2010

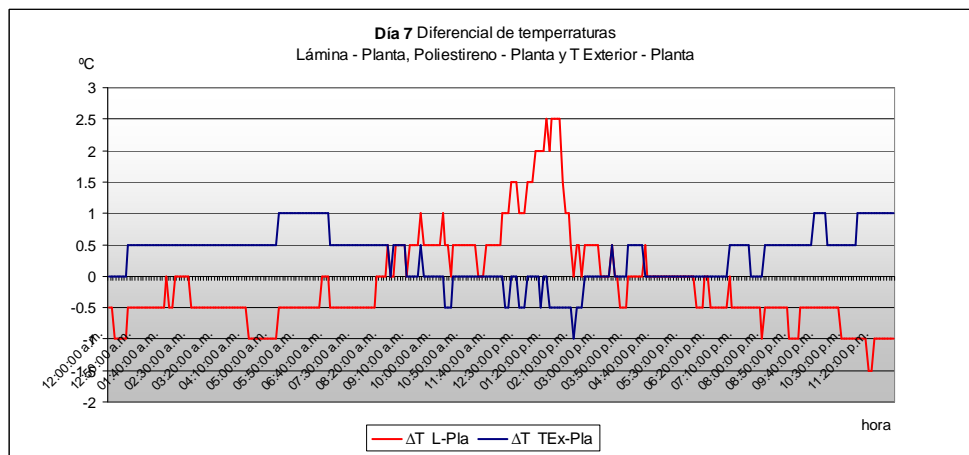
Inicio de lecturas a las 00:00:00 hrs.

A las 11:00 hrs la temperatura de S2 se eleva súbitamente. El incremento de la temperatura en S1 es mucho menor en magnitud y en un lapso de tiempo más amplio. S1 alcanza 26°C, que es su mayor temperatura, a las 15:50 hrs. S2 alcanza su pico, en 33.5°C a la misma hora. (Gráfica 4.117).



Gráfica 4.117

El mayor diferencial de temperatura entre S2 y S1 durante el día es de 2.5K. Durante la noche S2 es más fría que S1, predominando un diferencial de 0.5K (Gráfica 4.118).

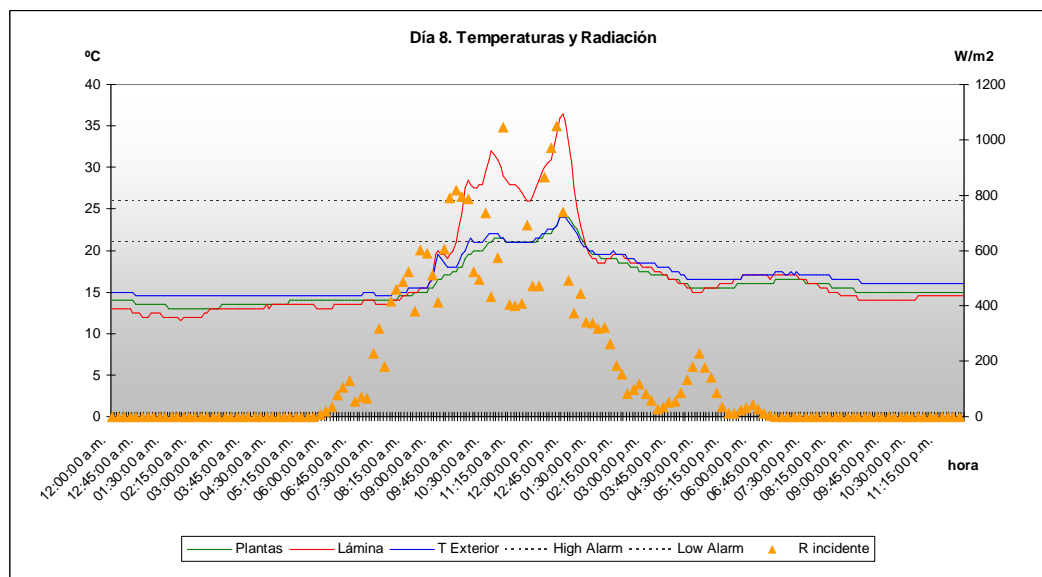


Gráfica 4.118.

Día 8 25/07/2010

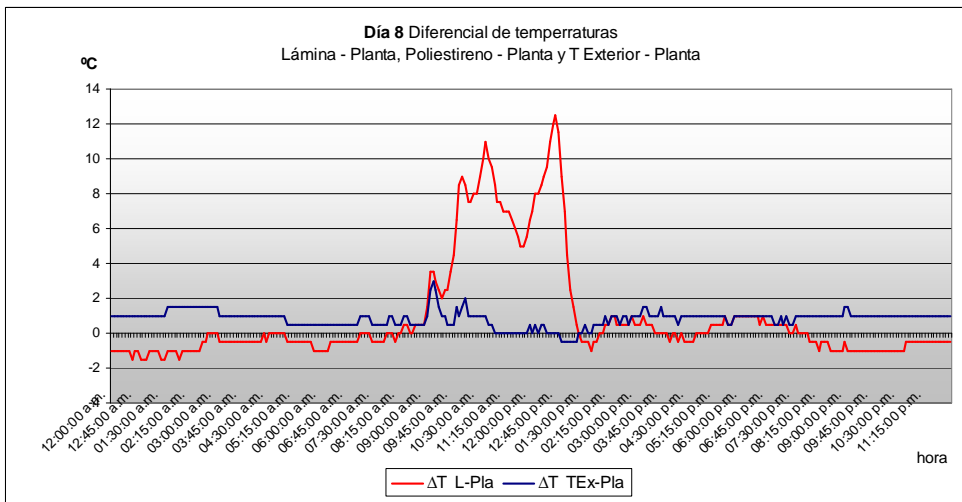
Inicio de lecturas a las 00:00:00 hrs.

En este día se conservan las tendencias de los primeros días para el periodo diurno. En la noche, durante uno lapsos de tiempo la temperatura de la lámina es más caliente que la S1 (Gráfica 4.119).



Gráfica 4.119.

En esta gráfica se puede destacar que durante un breve lapso, de las 8:55 a las 11:00 hrs la TBS Ext. fue mayor a la S1, con un diferencial de hasta 2.5K, que es un comportamiento distinto a los demás días. (Gráfica 4.120).



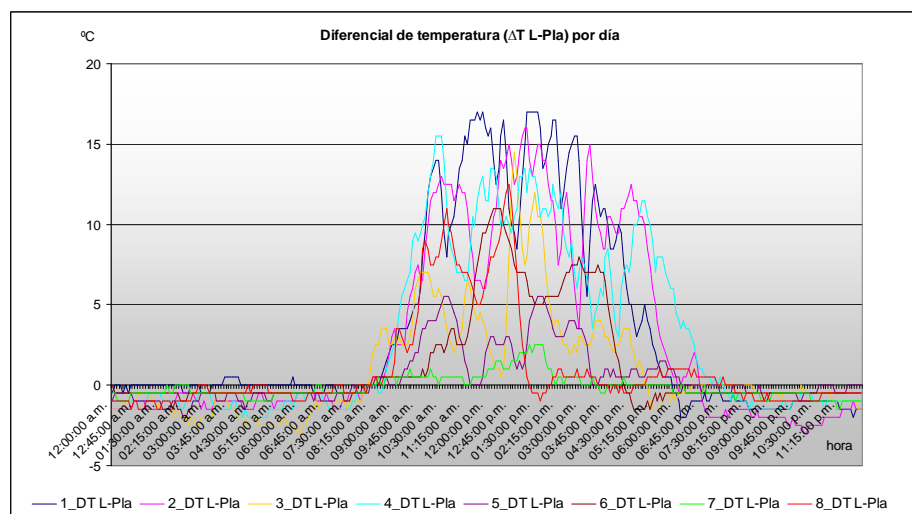
Gráfica 4.120

Concentrado de Diferenciales de temperatura de los 8 días

Se presenta el concentrado de diferenciales que permite ver de manera sintética si el comportamiento de los días registrados marcan una tendencia.

Diferencial de temperatura Lámina - Plantas

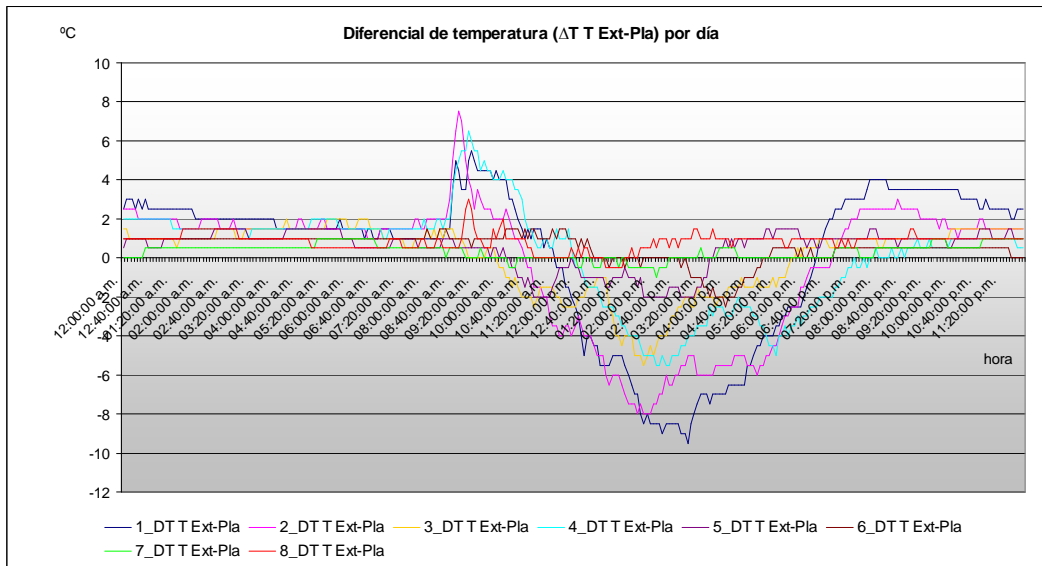
Los diferenciales se presentan positivos durante el día y negativos durante la noche, lo que indica que siempre es más fría la lámina que la superficie con plantas durante la noche, y más caliente durante el día. Los diferenciales son poco estables, lo que deja ver gran vulnerabilidad de los dos elementos ante las variaciones del clima exterior. (Gráfica 4.121).



Gráfica 4.121. ΔT de Lámina – Plantas en los 8 días medidos.

Diferencial de temperatura TBS Exterior - Plantas

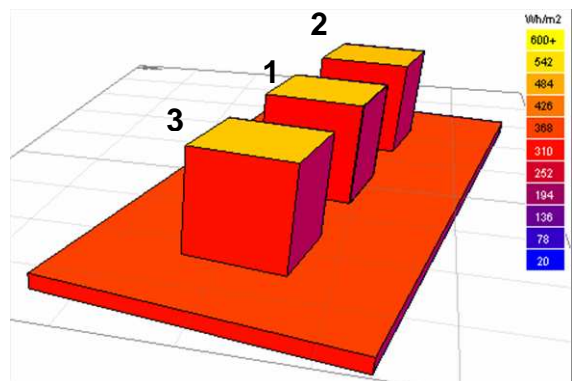
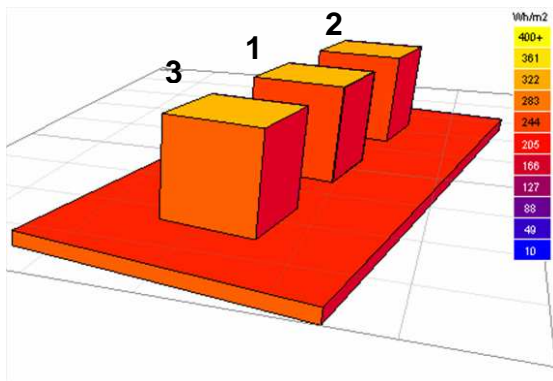
De manera general el diferencial es positivo durante el día, mayor en magnitud en las horas en que incide radiación directa sobre la superficie. Durante la noche, predomina el diferencial negativo que indica que la SP es más fría que la TBS Ext. se define una tendencia de los diferenciales en el tiempo, no así en la magnitud. (Gráfica 4.122).



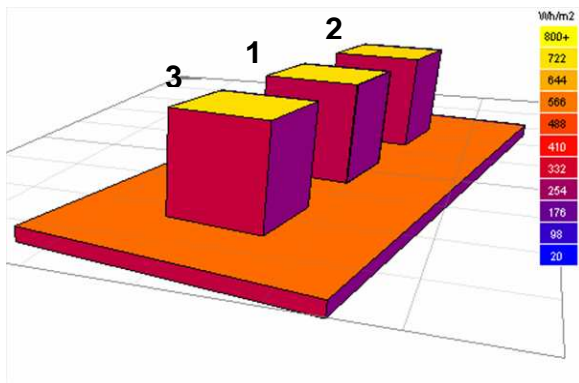
Gráfica 4.122. ΔT de T Ext – Plantas en los 8 días medidos.

Visualización de incidencia de radiación sobre cubos térmicos

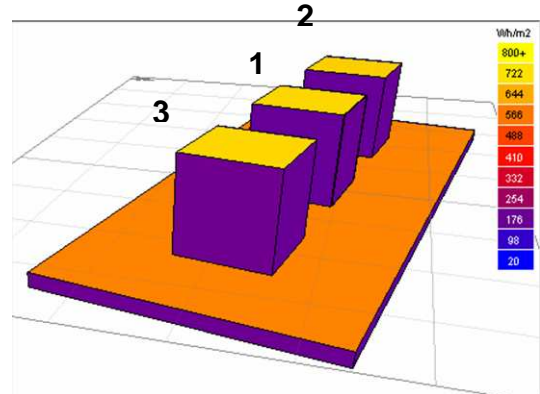
Gráfica 4.77. Visualización gráfica de la incidencia de radiación sobre cubos térmicos



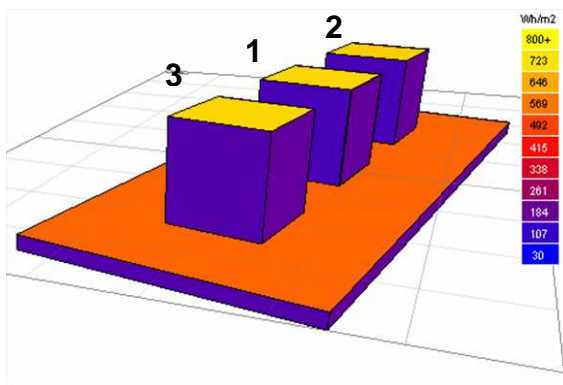
Máxima de 8:00 a 9:00 hrs.



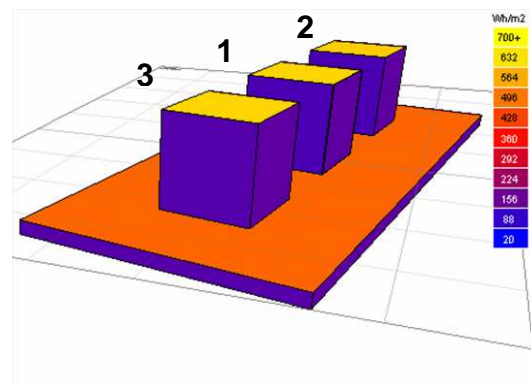
Máxima de 9:00 a 10:00 hrs.



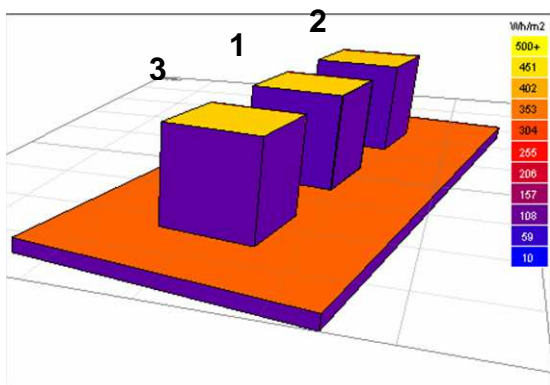
Máxima de 10:00 a 11:00 hrs.



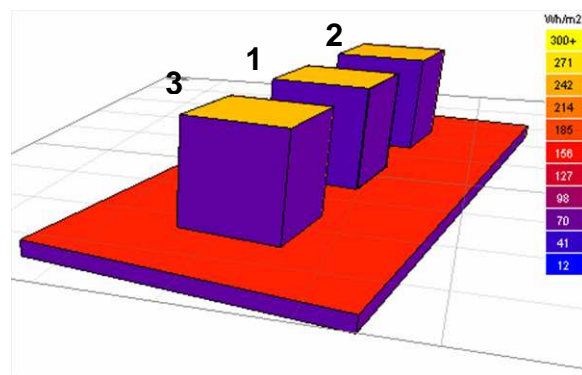
Máxima de 11:00 a 12:00 hrs.



Máxima de 12:00 a 13:00 hrs.



Máxima de 13:00 a 14:00 hrs.



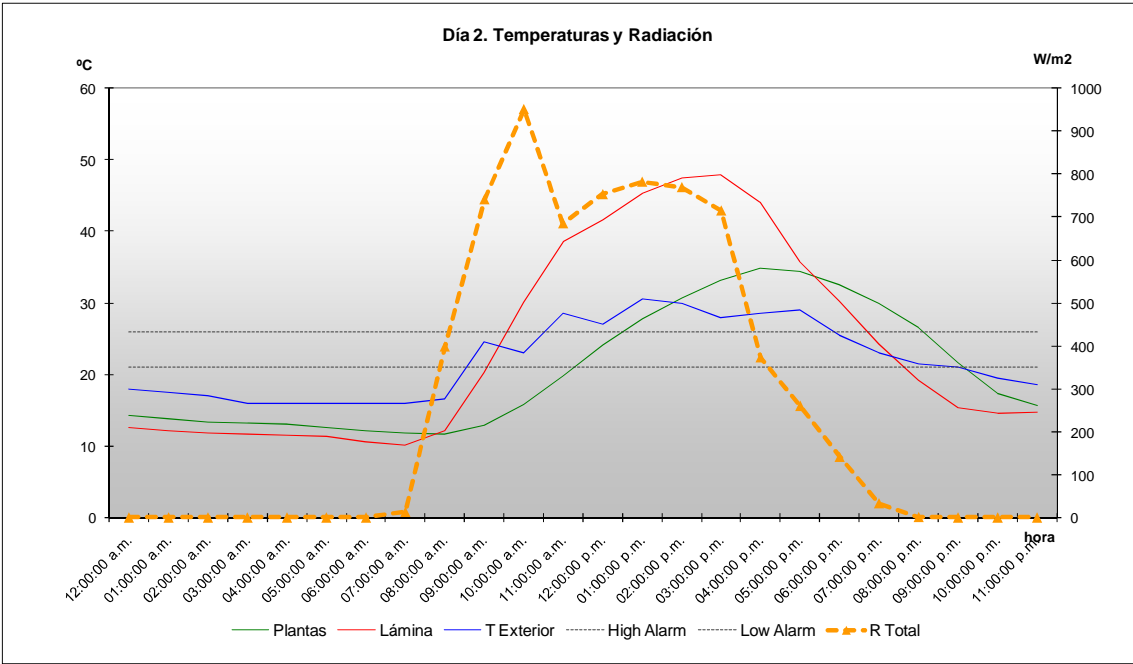
Máxima de 14:00 a 15:00 hrs.

Máxima de 15:00 a 16:00 hrs.

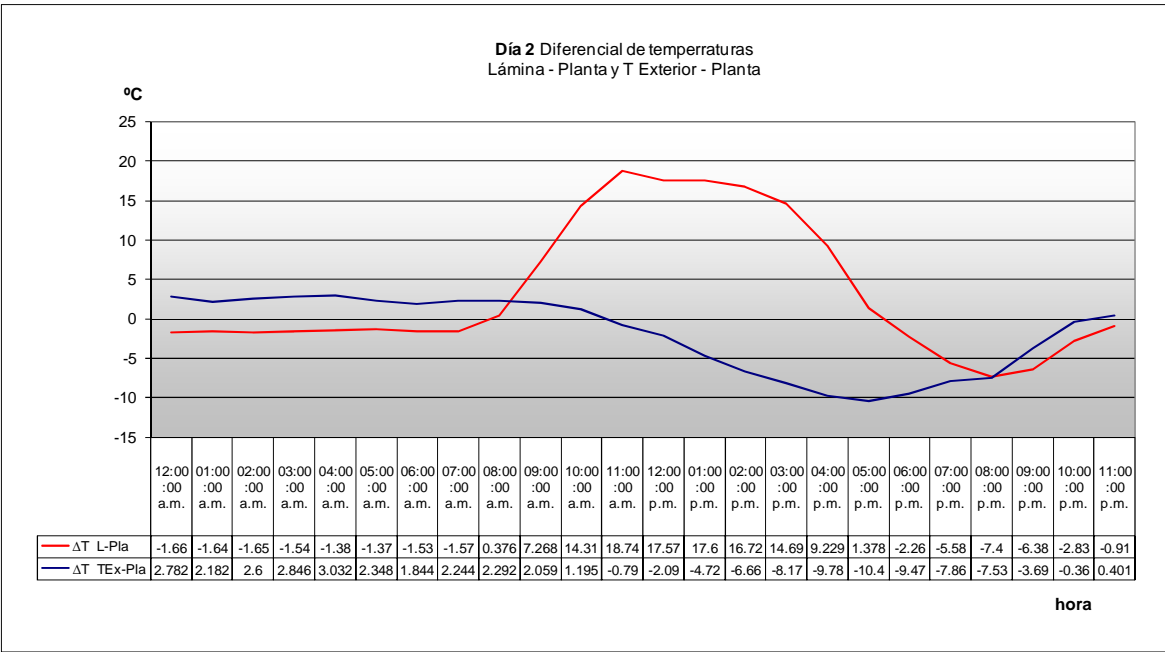
A partir de las 16:00 hrs. la incidencia de radiación se reduce paulatinamente hasta ser prácticamente nula a las 17:00 hrs.

Cubo térmicos simulados en Design Builder

Día 2
19/07/2010

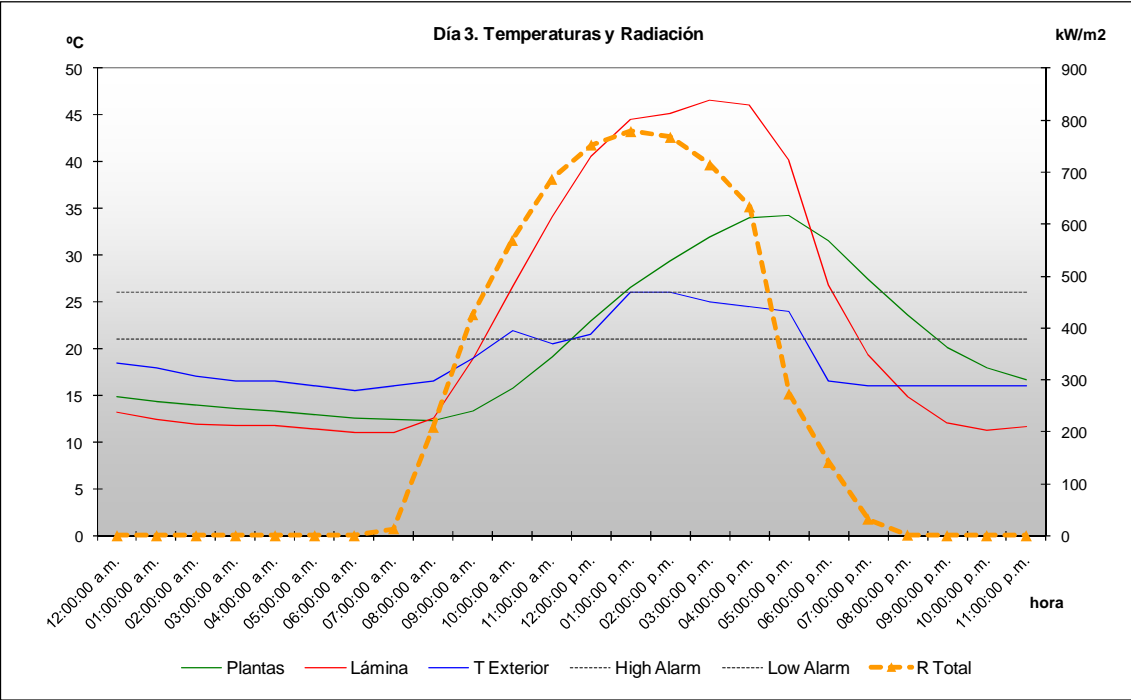


Temperaturas de los cubos térmicos simulados.

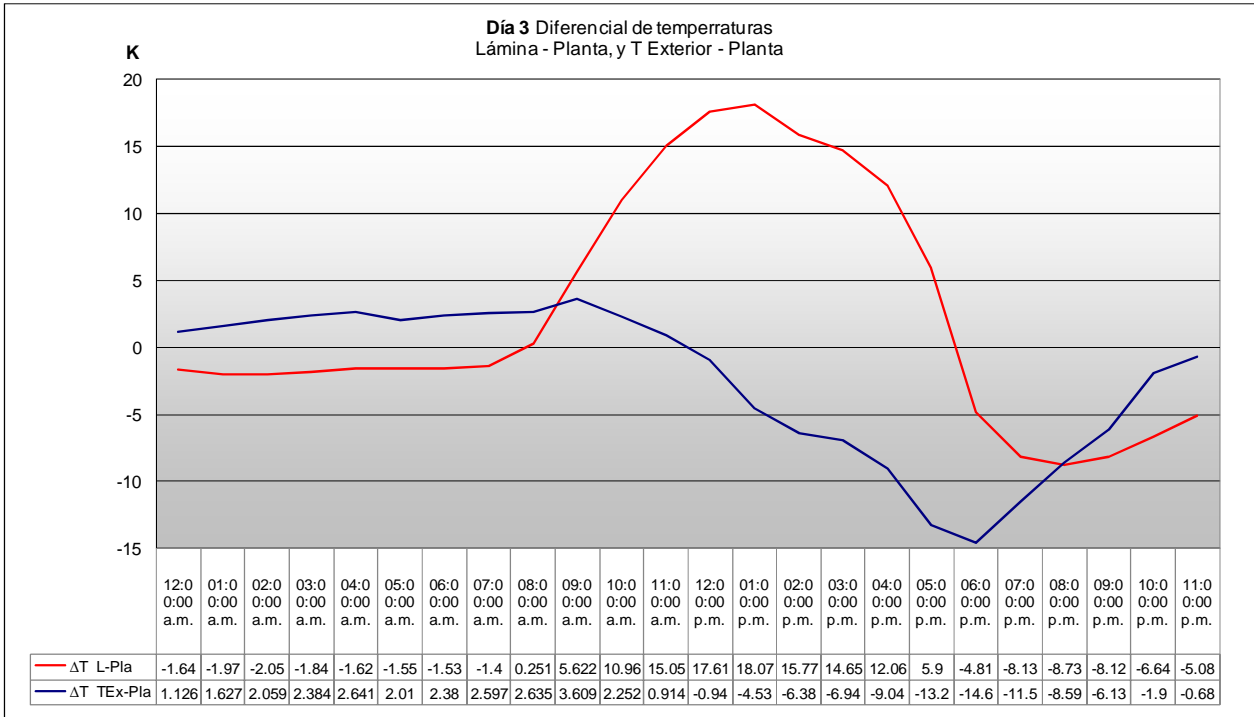


Diferenciales de temperatura de los cubos térmicos simulados.

Día 3
20/07/2010

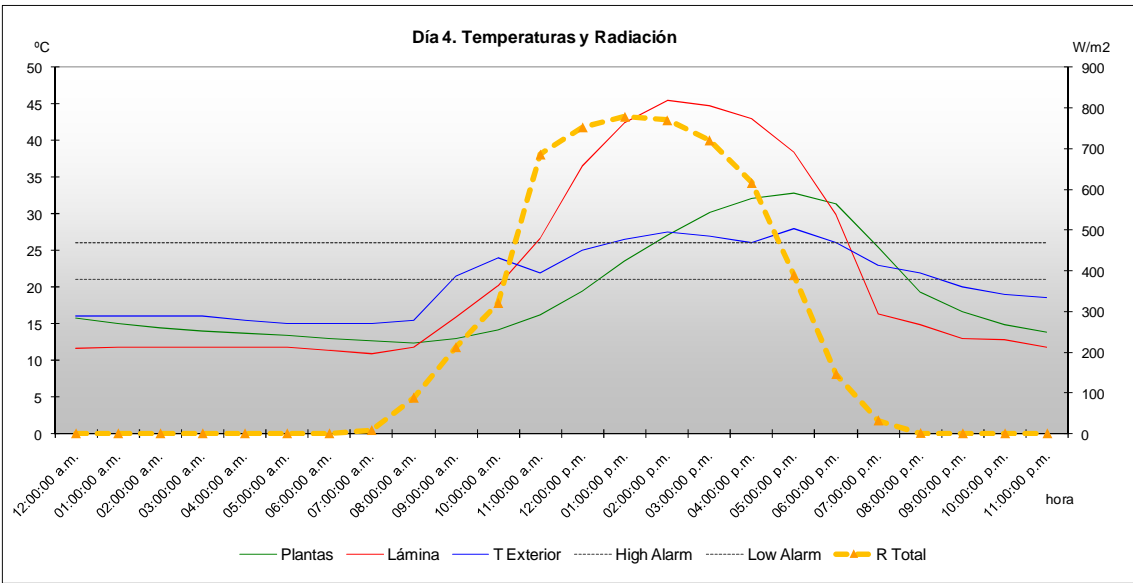


Temperaturas de los cubos térmicos simulados.

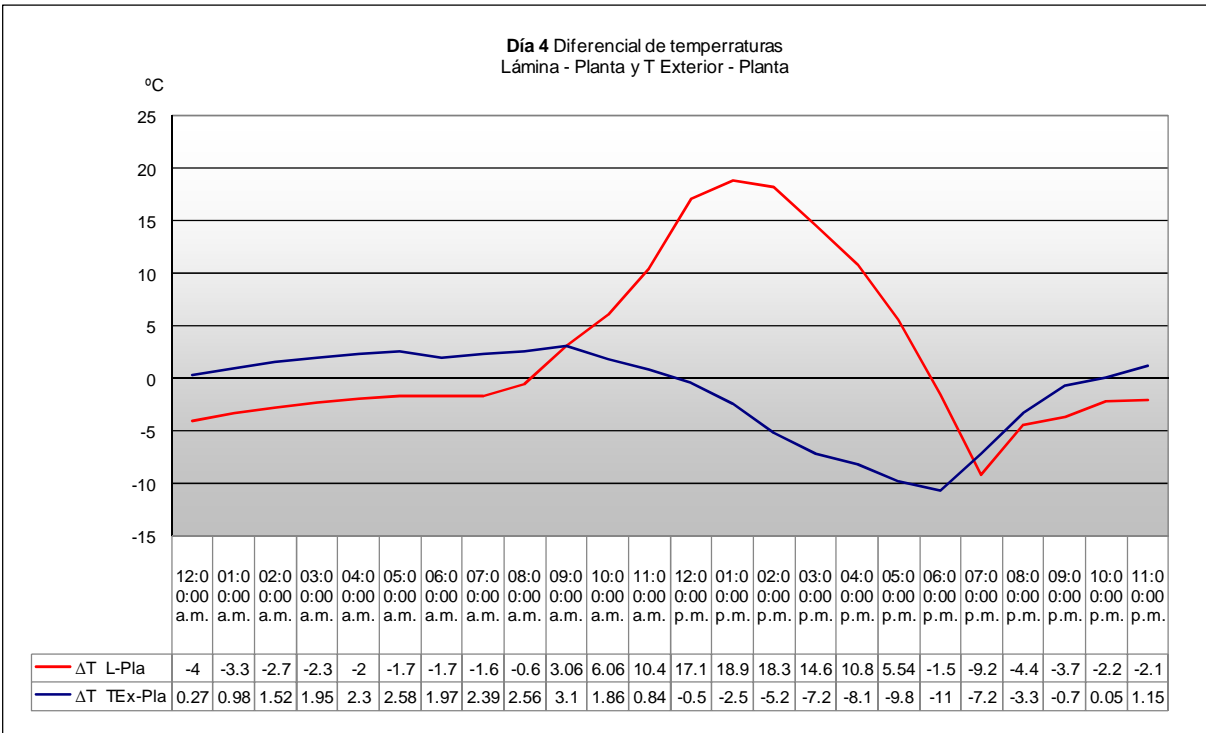


Diferenciales de temperatura de los cubos térmicos simulados.

Día 4
21/07/2010

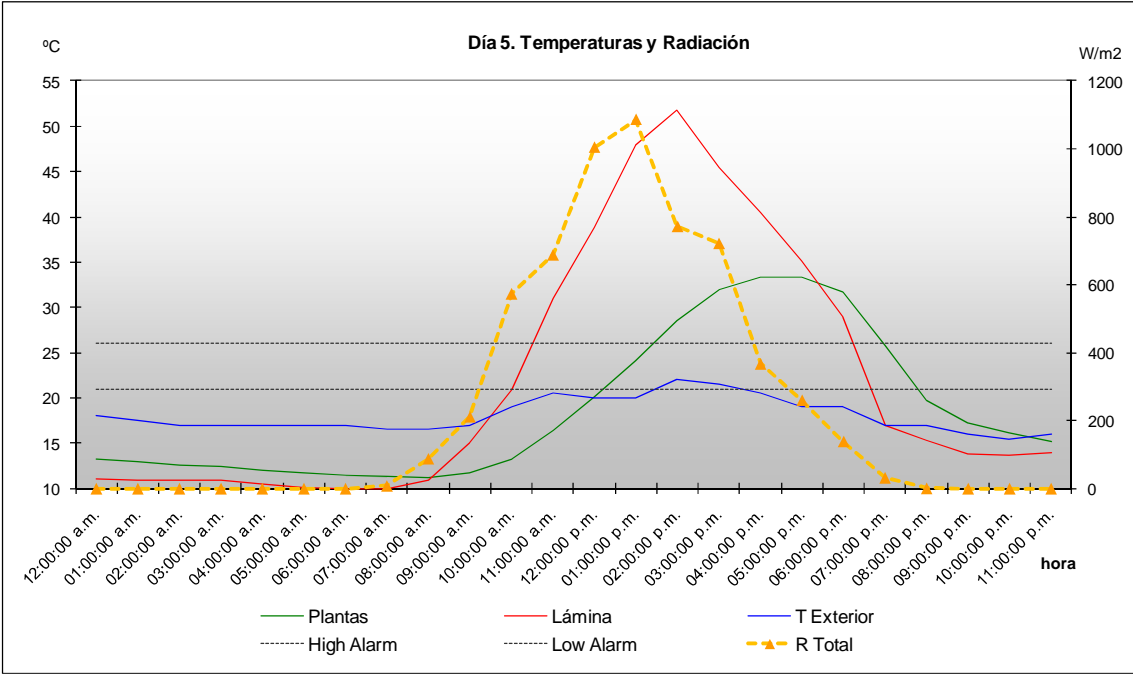


Temperaturas de los cubos térmicos simulados.

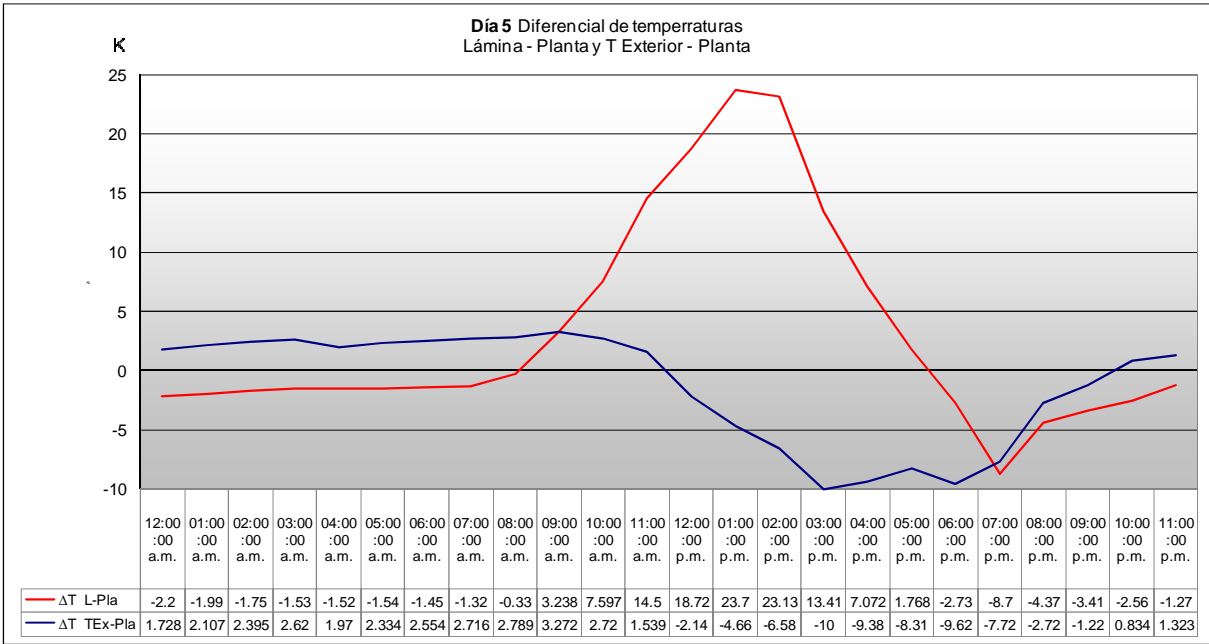


Diferenciales de temperatura de los cubos térmicos simulados.

Día 5
22/07/2010

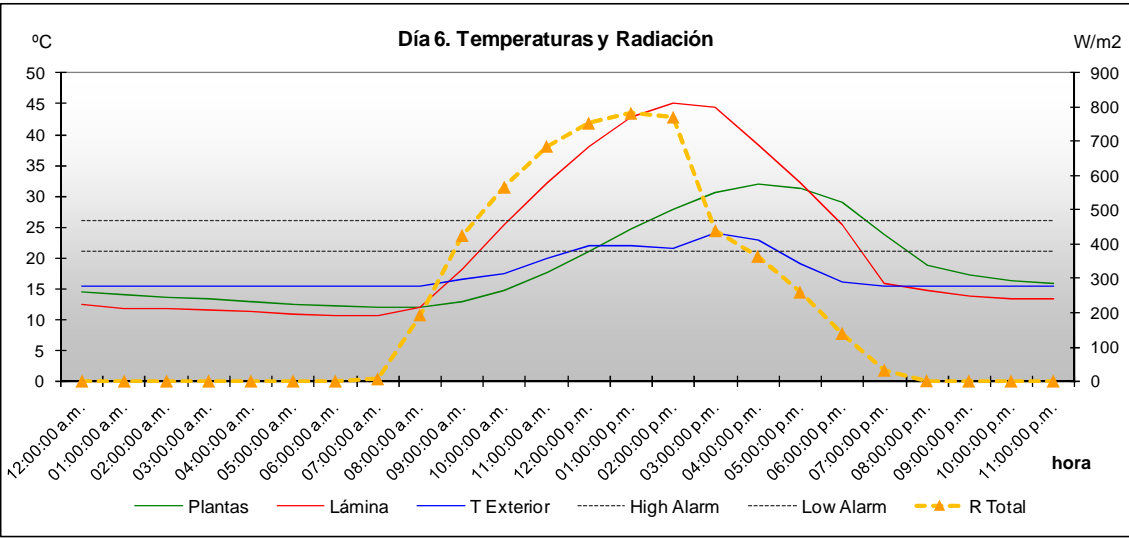


Temperaturas de los cubos térmicos simulados.

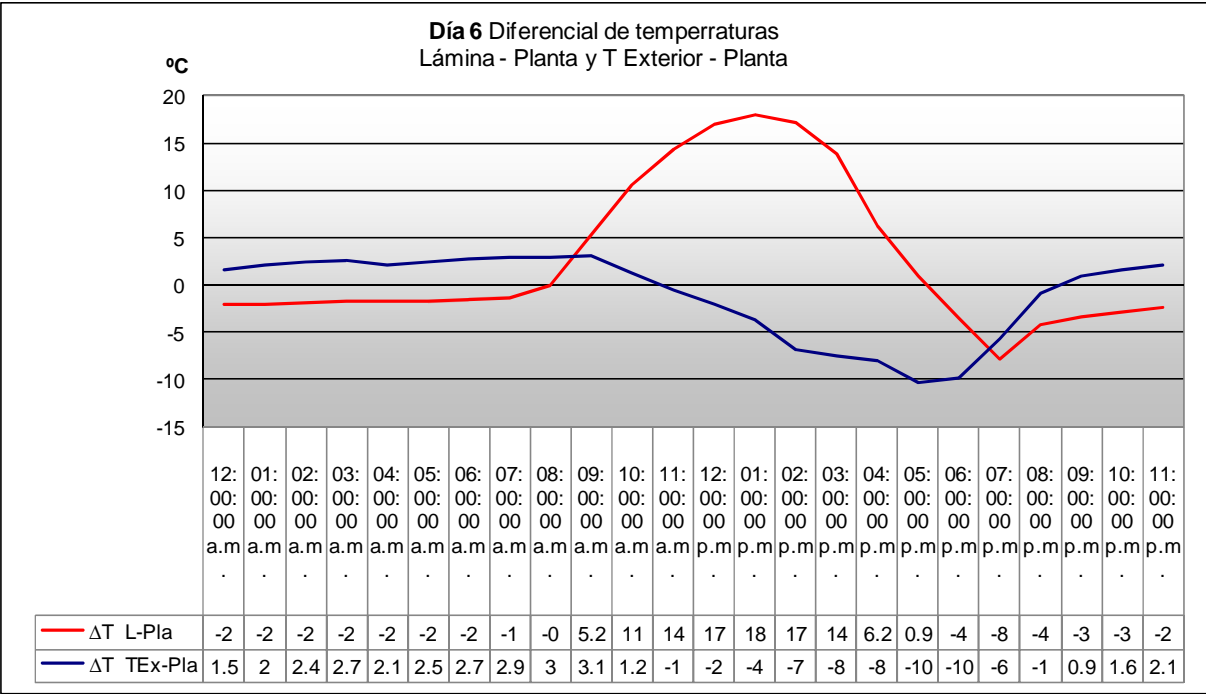


Diferenciales de temperatura de los cubos térmicos simulados.

Día 6
23/07/2010

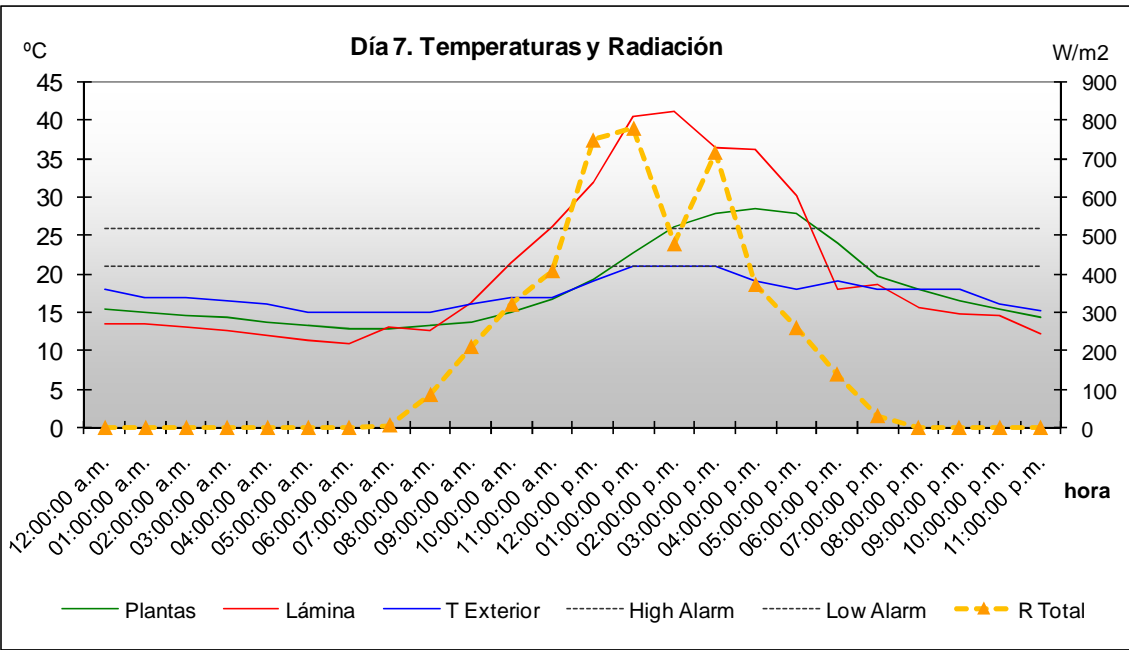


Temperaturas de los cubos térmicos simulados.

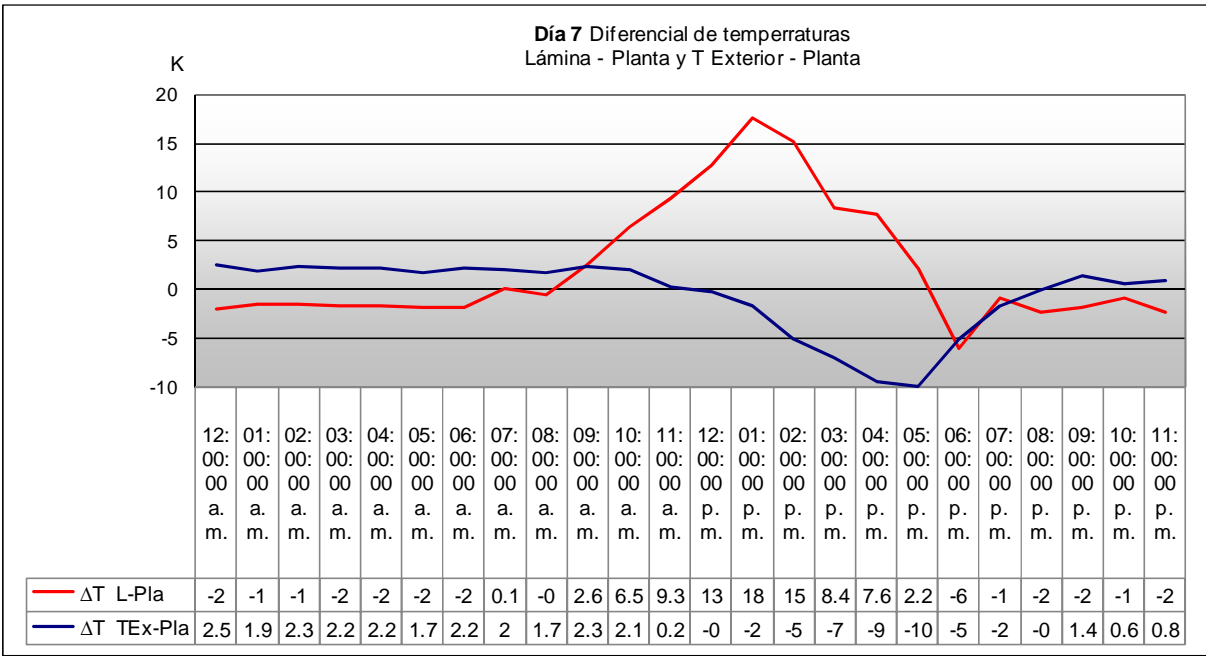


Diferenciales de temperatura de los cubos térmicos simulados.

Día 7
24/07/2010

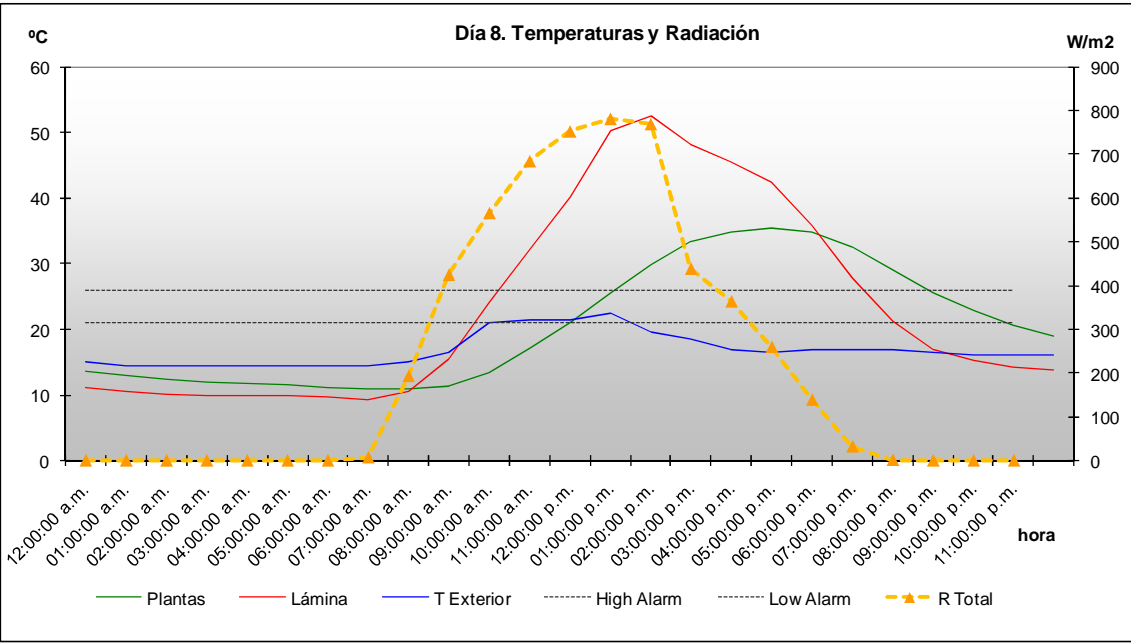


Temperaturas de los cubos térmicos simulados.

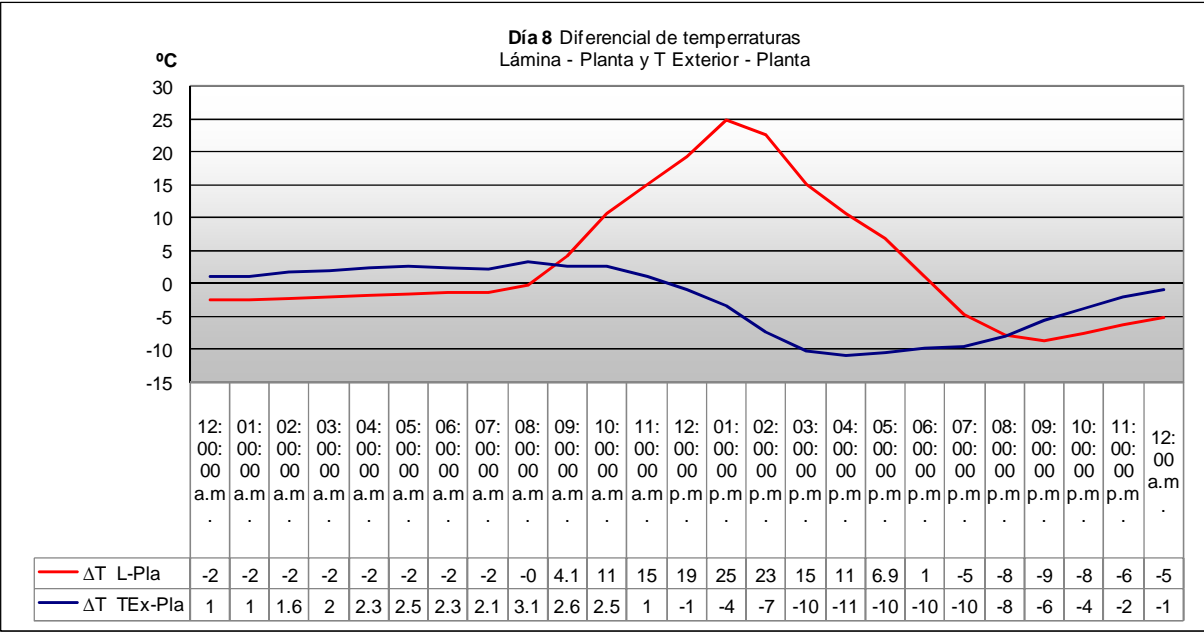


Diferenciales de temperatura de los cubos térmicos simulados.

Día 8
25/07/2010



Temperaturas de los cubos térmicos simulados.



Diferenciales de temperatura de los cubos térmicos simulados.

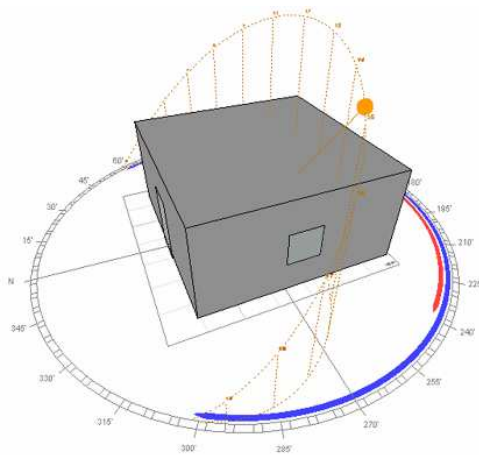
ANEXO 4

MÉTODO ESTÁTICO DE EVALUACIÓN

Para tener otro modelo de evaluación y estimación de resultados se llevó a cabo un ejercicio matemático con un modelo de evaluación estático, para un espacio con cubierta de lámina al que se le aplica la naturación, y ambos comparados a la vez con un espacio de las mismas dimensiones y materiales base, con una cubierta de concreto.

Se estableció un espacio hipotético de trabajo de 3m x 3m en planta, y 3m de altura, arrojando un área de desplante de 9 m² y un volumen interno de 27m³. Se planteó que los muros son de tabique rojo recocido de 30 cm de espesor, aplanado al exterior con 2cm de cemento arena y al interior con 2 cm de yeso. La losa se intercambia en tres modelos de prueba. Tiene una puerta de bastidor de triplay de 1m x 2.1m, una ventana de 2m x 2m, y con un piso de cemento pulido (Figura 4).

Con estas condiciones iniciales se llevó a cabo la estimación de la radiación solar incidente, la ganancia térmica por radiación y conducción sobre la losa, en base a la hoja de cálculo de *Balance Térmico* desarrollada por el Dr. Víctor Fuentes Freixanet, comparando el mismo modelo base con tres variantes. El primer modelo, que se toma como modelo comparativo de un material común, es el edificio base con una losa sencilla de concreto de 10 cm de espesor, con impermeabilizante al exterior y plafón de yeso de 2cm al interior. El segundo modelo corresponde al espacio con cubierta de lámina sencilla de 2 mm de espesor y se toma como Modelo de Referencia al ser comparado con el modelo 3. El tercer modelo corresponde al espacio con cubierta de lámina sencilla de 2 mm de espesor y una cobertura exterior de tres capas vegetales cada una de 5mm de espesor, y se considera entre cada capa de vegetación una cavidad de aire de 2 cm que corresponde al patrón de cobertura observado en el proceso de manejo de la planta.



Modelo base de trabajo

El ejercicio comparativo se hizo para el día 21 de abril (111 consecutivo) a las 14:00 hrs. (ángulo horario -30°), hora en la que la radiación horaria teórica es de 569 w/m^2 . Para esta hora y día de diseño, se tiene una Declinación (δ) de 11.58° , una Altura Solar (h) de 60.1° y un Acimut (z) de 79.22° . Velocidad del viento media para este mes de 1.2 m/s^2 . Dado que el elemento analizado es una losa plana, el ángulo de incidencia (Θ) es igual a la altura solar, por lo que $\Theta = h = 60.1^\circ$.

La energía solar incidente en losa se calculó con la ecuación

$$G = I (\sin h)^{1/3}$$

Donde:

G = Energía solar incidente

I = Radiación solar total horaria;

h = altura solar

La ganancia solar para la losa se determina con la ecuación:

$$Q_s = G * A \alpha (U/fe)$$

Donde:

G = Energía solar incidente

A = Área de la superficie

α = Absortancia de la capa exterior

U = Coeficiente "U" de Transmisión

fe = Coeficiente de transmisión Aire – Elemento exterior

$$fe = 10.93 + (4.1 * V)$$

Donde V = Velocidad del viento

La energía solar incidente en losa para los tres casos es de:

$$G = 569 (\sin 60.1)^{1/3}$$

$$G = 542.54 \text{ W/m}^2$$

La ganancia o pérdida por conducción se obtiene con la ecuación:

$$Q_c = A * U$$

Donde:

A = Área de la superficie

U = Coeficiente "U" de Transmisión

Modelo 1

Para este modelo de material común, que tiene losa de concreto tenemos los siguientes valores:

- Resistencia térmica del sistema (R) = $0.3459 \text{ m}^2\text{°C/W}$
- Coeficiente de Transmisión (U) = $2.89 \text{ W/m}^2\text{°C}$
- Absortancia (α) = 0.65

- Área de la superficie (A) = 9 m²
- Porcentaje de asoleamiento del elemento = 100%

La Ganancia solar para el Modelo 1 es de:

$$Q_s = 542 * 9 * 0.60 (1.07/15.85)$$

$$\mathbf{Q_s = 578.86 \text{ Watt}}$$

La ganancia por conducción del Modelo 1 es:

$$Q_c = 9 * 1.07$$

$$\mathbf{Q_c = 26.02 \text{ Watt}}$$

Modelo 2

Para éste, que se toma como Modelo de Referencia, con cubierta de lámina simple tenemos los siguientes valores:

- Resistencia térmica del sistema (R) = 0.2140 m²°C/W
- Coeficiente de Transmisión (U) = 4.67 W/m²°C
- Absortancia (α) = 0.50
- Área de la superficie (A) = 9 m²
- Porcentaje de asoleamiento del elemento = 100%

La Ganancia solar para el Modelo 1 es de:

$$Q_s = 542 * 9 * 0.50 (4.67/15.85)$$

$$\mathbf{Q_s = 719.83 \text{ Watt}}$$

La ganancia por conducción del Modelo 2 es:

$$Q_c = 9 * 1.07$$

$$\mathbf{Q_c = 42.06 \text{ Watt}}$$

Modelo 3

Para éste, que es el modelo intervenido, con cubierta de lámina simple y cobertura vegetal tenemos los siguientes valores:

- Resistencia térmica del sistema (R) = 0.5047 m²°C/W
- Coeficiente de Transmisión (U) = 1.98 W/m²°C
- Absortancia (α) = 0.70
- Área de la superficie (A) = 9 m²
- Porcentaje de asoleamiento del elemento = 100%

La Ganancia solar para el Modelo 1 es de:

$$Q_s = 542 * 9 * 0.70 (1.62/15.85)$$

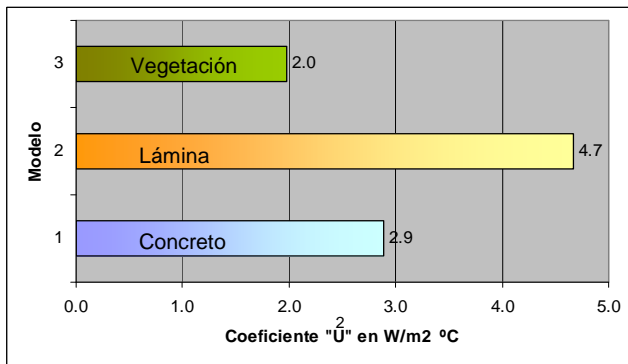
$$\mathbf{Q_s = 427.21 \text{ Watt}}$$

La ganancia por conducción del Modelo 2 es:

$$Q_c = 9 * 1.07$$
$$Q_c = 17.83 \text{ Watt}$$

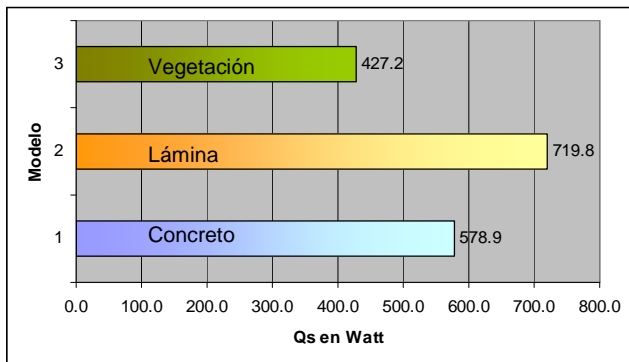
Análisis de resultados

El Coeficiente de Transmisión “U” de la cubierta de lámina con vegetación es 31% menor que el de la losa de concreto y 57.4% menor al de la lámina sin vegetación (Figura 4).



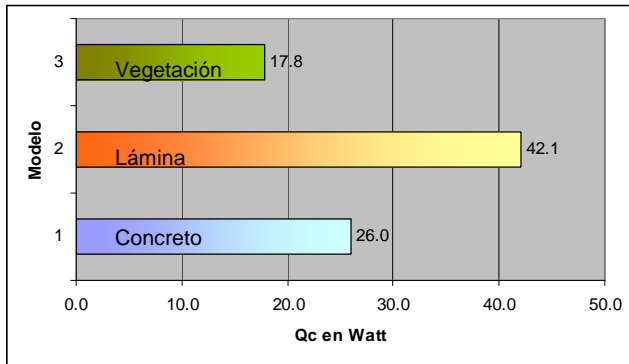
Comparación del Coeficiente “U” en los tres modelos.

La ganancia solar Qs de la cubierta de lámina con vegetación es 26.2% menor que el de la losa de concreto y 40.7% menor al de la lámina sin vegetación (Figura 5).



Comparación de Qs en los tres modelos.

La ganancia por conductividad Qc de la cubierta de lámina con vegetación es 32% menor que el de la losa de concreto y 58% menor al de la lámina sin vegetación (Figura 6).



Comparación de Q_c en los tres modelos.

Aun cuando este ejercicio se hace con un modelo de estimación estático y desarrollado sólo para una fecha en época calurosa, se pueden observar los efectos positivos de la aplicación de vegetación sobre una cubierta de lámina.

Se nota gran cercanía entre la diferencia el porcentaje que tienen los coeficientes “U” de transmisión y las ganancias por conductividad Q_c guardadas entre los tres modelos: 32% entre la cubierta naturada y la de concreto y 58% entre la naturada y la de lámina sencilla. Las diferencias de ganancia solar Q_s se reducen a 26% entre la cubierta naturada y la de concreto y a 40.7% entre la misma naturada y la de lámina sencilla, debido a que influye la Admitancia de la lámina que se consideró de manera teórica en 0.50, sin embargo, en la realidad hemos observado cubiertas de lámina que van de colores cafés a verdes y rojo ladrillo, en cuyos casos la admitancia aumentará y así la ganancia solar de una lámina sencilla expuesta al intemperie.

ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO 1

Tabla 1.1. Parámetros de cada tipo de naturación y sus componentes básicos	13
--	----

CAPÍTULO 2

Tabla 2.1. Indicadores Estatales de la Construcción del Distrito Federal.	35
Tabla 2.2. Muros, Material predominante.	37
Tabla 2.3. Techos, Material predominante por vivienda.	38
Tabla 2.4. Proyección de Población en las ciudades más pobladas.	38
Tabla 2.5. Densidad poblacional en el D. F.	39
Tabla 2.6. Vivienda particular - clase - lugar nacional - 2005 - en la entidad	40
Tabla 2.7. Carga uniforme permisible para lámina acanalada.	47

CAPÍTULO 3

Tabla 3.1. Número de áreas verdes por delegación	53
Tabla 3.2. Áreas Verdes por Delegación	53
Tabla 3.3. Época, periodo y era en la formación de la cuenca del Valle de México	55
Tabla 3.4. Especies animales en el D. F. registradas en 1984	59
Tabla 3.5. Evolución de las áreas urbanas y la densidad poblacional en la ciudad de México desde 1600 hasta 1989	62
Tabla 3.6. Límites de calidad del aire.	69
Tabla 3.7. Emisiones totales de GEI, ZMVM – 2006.	70
Tabla 3.8. Impacto en la calidad del aire de los techos verdes con pasto	77
Tabla 3.9. Beneficios en la salud de los habitantes de la ZMVM por la reducción de contaminantes.	78
Tabla 3.10. Efectos en la salud relacionados con los contaminantes	79

CAPÍTULO 4

Tabla 4.1. Equivalencias de trabajo entre Radiación total, RFA y Lux	95
Tabla 4.2. Registro de características de plantas colectadas	97
Tabla 4.3. Volúmenes y Densidades obtenidos	101
Tabla 4.4. Densidad de Algunas Sustancias Comunes	102
Tabla 4.5. Unidades de masa obtenidas en las mediciones	103
Tabla 4.6. Contenido relativo de agua por planta.	103
Tabla 4.7. Contenido de agua en tejidos vegetales	104
Tabla 4.8. Propiedades malla de polipropileno	107
Tabla 4.9. Propiedades físicas del polipropileno	107
Tabla 4.10. Propiedades mecánicas polipropileno	108
Tabla 4.11. Membrana de fibra de coco	108
Tabla 4.12. Propiedades físicas Fibra de Coco	109
Tabla 4.13. Propiedades promedio del poliéster	109
Tabla 4.14. Propiedades Físicas y térmicas del Poliéster	110
Tabla 4.15. Propiedades mecánicas de la Membrana de PVC	110
Tabla 4.16. Propiedades físicas PVC	111
Tabla 4.17. Relación de peso por cm ² en diferentes individuos	115

Tabla 4.18. Peso del sistema en Muro	118
Tabla 4.19. Peso del Sistema en Cubierta	118
Tabla 4.20. Valores térmicos obtenidos de las mediciones	127

CAPÍTULO 5

Tabla 5.1. Costo de materiales, en pesos, m.n.	134
--	-----

CAPÍTULO 6

Tabla 6.1. Tableta de programación de losas en Design Builder	150
Tabla 6.2. Tabletas de programación de muros en Design Builder.	
A. Sección. B. Valores térmicos	151
Tabla 6.3. Tableta de programación de piso en Design Builder. A. Sección. B. Valores térmicos	151
Tabla 6.4. Tableta de programación de concreto naturado en Design Builder. A. Sección. B. Valores térmicos	153
Tabla 6.5. Tableta de programación de lámina en Design Builder. Valores térmicos	153
Tabla 6.6. Tableta de programación de lámina naturada en Design Builder. A. Sección. B. Valores térmicos	154
Tabla 6.7. Valores térmicos programados. A. Pitahaya. B. Membrana de Coco. C. Dren prefabricado. D. Membrana PVC.	155
Tabla 6.8. Programación de ocupación y uso de espacio	156
Tabla 6.9. Valores de trabajo de los equipos mecánicos de enfriamiento y calentamiento del espacio.	189
Tabla 6.10. Demanda Eléctrica mensual para enfriamiento	191
Tabla 6.11. Ahorro que aporta el sistema. Electricidad. Concreto Simple Vs Concreto naturado.	193
Tabla 6.12. Generación de calor en base a gas por calentamiento del espacio.	193
Tabla 6.13. Ahorro que aporta el sistema. Gasto en gas por calentamiento. Concreto Simple	196
Tabla 6.14. Ahorro que aporta el sistema. Gasto en gas por calentamiento. Concreto Naturado	196
Tabla 6.15. CO ₂ emitido al mes por los modelos de concreto.	197
Tabla 6.16. Demanda Eléctrica mensual por enfriamiento para los modelos de lámina.	199
Tabla 6.17. Ahorro que aporta el sistema de naturación. Electricidad. Lámina Simple Vs. Lámina naturada.	201
Tabla 6.18. Generación de calor en base a gas por calentamiento del espacio para los modelos de lámina.	201
Tabla 6.19. Ahorro que aporta el sistema. Gasto en gas por calentamiento. Lámina Simple.	203
Tabla 6.20. Ahorro que aporta el sistema. Gasto en gas por calentamiento. Lámina Naturada.	204
Tabla 6.21. CO ₂ emitido al mes por los modelos de lámina.	205
Tabla 6.22. Contaminantes que dejan de emitirse a la atmósfera por cada kW/h ahorrado por el consumo.	207
Tabla 6.23. Contaminantes indirectos evitados por la Naturación. Concreto Simple Vs. Concreto naturado.	207
Tabla 6.24. Contaminantes indirectos evitados por la Naturación. Concreto Simple Vs. Concreto naturado Lámina simple Vs. Lámina naturada.	

CAPÍTULO 7

Tabla 7.1. RFA en superficies de diseño Para <i>Hylocereus undatus</i>	213
Tabla 7.2. Conversión de μmol a gramos de CO ₂	217
Tabla 7.3. peso del sistema en Muro	222

Tabla 7.4. peso del sistema en Cubierta	223
Tabla 7.5. Comparativo de los sistemas existentes según la NADF-013-RNAT-200 y el sistema aligerado propuesto en Cubierta .	223
Tabla 7.5. Comparativo de los sistemas existentes según la NADF-013-RNAT-2007 y el sistema aligerado propuesto en Cubierta .	223
Tabla 7.6. Precio unitario de elementos en el sistema Aligerado de Naturación.	225

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

Figura 1.1. Edificación vikinga con techumbre naturada. Thjodve ldisbaer, Islandia. A. Volumetría. B. Planta	9
Figura 1.2. A. Casa tradicionales de “panes de césped” en Islandia. B. Casa Hehe, Tanzania	9
Figura 1.3. A. Sistema utilizado en Estados Unidos y Canadá. B. Construcción de los techos escandinavos tradicionales de pasto	10
Figura 1.4. Jardín de Iztapalapa en el Códice Florentino	11
Figura 1. 5. Arreglo constructivo GRF	14
Figura 1. 6. Colocación de prefabricados GRF	14
Figura 1. 7. Charola prefabricada	14
Figura 1. 8. Instalación en serie de paneles	14
Figura 1. 9. Paneles plásticos de celdas. Muro verde del 1 ^{er} callejón de 5 de mayo, D. F.	15
Figura 1.10. A. panel base y B. Colocación sobre un muro base	15
Figura 1. 11. Sistema GLT. A. En muro recto. B. Esquina. C. Panel de aluminio	16
Figura 1. 12. Sistema Gsky. A. Vista Final de muro. B. Elementos del sistema. C. Muro Cortina con Lienzos metálicos como soporte	16
Figura 1. 13. Sistema Green Fortune. A. Repisa base. B. Aspecto final	17
Figura 1. 14. Jardín columnar. A. Aplicación en exterior. B. Contenedor base del sistema	18
Figura 1. 15. Sistema Tresma. A. Establecimiento del musgo. B. Aspecto final	18
Figura 1. 16. Concreto vegetal	19
Figura 1. 17. Muro vegetal en Doble Fachada tipo Balcón	19
Figura 1. 18. Muro vegetal en base a trepadoras	20
Figura 1. 19. Muro vegetal en base a trepadoras	20
Figura 1. 20. Principio básico del muro PB	21
Figura 1. 21. Arraigo de planta	21
Figura 1. 22. Sistema de riego	21
Figura 1. 23. Canastillas plásticas pijadas al muro	21
Figura 1. 24. Muro verde en base a tubos de pvc	22
Figura 1. 25. Muro talud ecológico en Alicante, España. A. Aspecto final. B. Detalle de geomalla	22

CAPÍTULO 2

Figura 2.1. Grandes estructuras Industriales con techumbre de lámina en torno a la UAM Azcapotzalco	36
Figura 2.2. Edificio de Relaciones exteriores, D. F.	40
Figura 2.3. Centro Histórico del D. F.	40
Figura 2.4. Azotea naturada del Instituto de Biología de la UNAM	42
Figura 2.5. Del. Xochimilco Programa de Naturación de Azoteas. Ejecución Universidad A. Chapingo	42
Figura 2.6. Escuela secundaria, Xochimilco, D. F.	42
Figura 2.7. Metro Insurgentes, D. F.	42
Figura 2.8. Museo del acero Monterrey, Nuevo León	43
Figura 2.9. Banco HSBC, Ciudad de México	43
Figura 2.10. Excárcel de mujeres, D. F.	43

Figura 2.11. Preparatoria R. Flores Magón, Tlalpan	43
Figura 2.12. Superama, Polanco, D. F.	44
Figura 2.13. Secundaria técnica, Xochimilco, D. F.	44
Figura 2.14. Muro verde callejón de 5 de mayo, Centro, D. F. Aspecto inicial	45
Figura 2.15. Muro verde callejón de 5 de mayo	45
Figura 2.16. Muro verde callejón de 5 de mayo	45
Figura 2.17. Muro verde Unidad Habitacional “La Valenciana”, Iztapalapa, D. F.	46
Figuras 2.18, 2.19 y 2.20. Seguridad contra deslizamiento de sustrato (Minke, 2005)	48
Figura 2.21. Cubierta con 45° de inclinación, Berlín, 1985	49
Figura 2.22. Cubierta inclinada con costales de sustrato en la Universidad de Kassel, Alemania	49
Figura 2.23. Arcotecho	49
Figura 2.24. Arcotecho	49

CAPÍTULO 3

Figura 3.1. Zonas de conservación en el D. F.	54
Figura 3.2. Límite aproximado de la ZMVM	56
Figura 3.3. Hundimiento en la Colonia Nápoles, D. F, 14 de mayo de 2009	64
Figura 3.4. Mapa de la distribución espacial de la generación de CO ₂	71
Figura: 3.5. El ciclo global del carbono en la actualidad	72
Figura 3.6. Islas de calor de acuerdo a Ernesto Jáuregui en la Ciudad de México	73
Figura 3.7. Temperaturas medidas en distintas. Superficies	74
Figura 3.8. Plantas usadas en los distintos tipos de azotea verde	75

CAPÍTULO 4

Figura 4.1. Distribución de <i>Hylocereus</i> en América	88
Figura 4.2. Distribución de <i>Hylocereus</i> en México	88
Figuras 4.3 y 4.4. Banco de pitahayas en el Jardín Botánico de la UNAM	90
Figuras 4.5 y 4.6. Pitahaya en camellón de colonia Bosques de Aragón	90
Figuras 4.7. y 4.8. Pitahaya en muro de domicilio particular en Cd. Nezahualcóyotl	90
Figura 4.9. Tallos en la base de la planata registrada en un camellón. Imágenes tomadas en sitio	91
Figura 4.10. Pitahaya cubriendo una techumbre. Col. Pantitlan, D. F.	91
Figuras 4.11 a 4.14. Pesaje de esquejes en laboratorio	99
Figura 4.15. Medición de volumen	100
Figura 4.16. Corte	100
Figura 4.17. Estabilización	100
Figura 4.18. Volumen total	100
Figura 4.19. Corte	101
Figura 4.20. Estabilización	101
Figura 4.21. Volumen total	101
Figura 4.22. Pesaje	102
Figura 4.23. Medición	102
Figura 4.24. Medición	102
Figura 4.25. plantas bajo volado	104
Figura 4.26. Planta en pared sur	104
Figuras 4.27, 4.28 y 4.29. plantas con 34% de sombreado	105
Figura 4.30. Base de lámina utilizada	106
Figura 4.31. Estructura base	111
Figura 4.31.B. Sistema que integra todos los materiales en el caso más desfavorable	113
Figura 4.32. Malla de polipropileno	111
Figura 4.33. Amarre de plantas a malla	112
Figura 4.34. Armado básico	112
Figura 4.35. Membrana de Coco	112
Figura 4.36. Membrana de Poliéster	112

Figura 4.37. Membrana de PVC	112
Figura 4.38. Dren prefabricado	112
Figura 4.39. Sustrato: tierra - tepojal, 60:40	112
Figura 4.40. Maceta	112
Figuras 4.41 a 4.43. Densidad de cobertura vegetal	114
Figura 4.44. Pitahaya en camellón de la Colonia Bosques de Aragón, ZMVM	115
Figura 4.45. Pitahaya en Jardín Botánico	117
Figura 4.46. Planta en el techo de una casa	117
Figura 4.47. Esquema de diseño de la medición en el Laboratorio de Energía Solar	119
Figura 4.48. Variador de Voltaje STACO ENERGY	120
Figura 4.49. Módulo de Adquisición de Datos ADAM	120
Figura 4.50. Mica eléctrica. Resistencia de 2.3 ohm. de 5.5 cm de diámetro	120
Figura 4.51. Toma de lectura con programa Lap View 7.1 de National Instruments	120
Figura 4.52. Termómetro digital OMEGA HH23	120
Figura 4.4.53. Multímetro TECTRONIX DMM912	120
Figura 4.54. Preparación de la prueba	121
Figura 4.55. Toma de temperatura del agua	121
Figura 4.56. Aislamiento de la planta	121
Figura 4.57. Preparación de medición	121
Figura 4.58. Aislamiento de la planta	122
Figura 4.59. Conexión de termopares	122
Figura 4.60. Aislamiento de la membrana	122
Figura 4.61. Desarrollo de medición	122
Figura 4.62. Conexión de termopares	123
Figura 4.63. Desarrollo de medición	123
Figura 4.64. Aislamiento de la membrana	123
Figura 4.65. Toma de temperatura del agua	123
Figura 4.66. pvc medido	124
Figura 4.67. Desarrollo de medición	124
Figura 4.68. Esquema de la conducción de calor estimada	125
Figura 4.69. Planta, 14.1211 g	127
Figura 4.70. Pvc, 3662 g	127
Figura 4.71. Coco, 2454 g	127
Figura 4.72. Dren, 2.4.1127 g	127
Figura 4.73. Poliéster, 0.9428 g	127

CAPÍTULO 5

Figura 5.1. A. Edificio "O" . B. Alineación de los cubos térmicos	131
Figura 5.2. Ventilación en cubos. A. Vista general. B. Detalle	132
Figura 5.3. A. Ubicación de Data logger. B. Aseguramiento con cinta adhesiva	132
Figura 5.4. A y B. Data logger para temperatura exterior	133
Figura 5.5. A. Doble panel en cubierta. B. Forro de cubos con papel aluminio	133
Figura 5.6. Gráfica Estereográfica	135
Figura 5.7. Colocación de cubos orientados al norte	135
Figura 5.8. A y B. Colocación horizontal de cubo con plantas	141
Figura 5.9. A. y B. .Cubos térmicos: 1. Superficie de lámina simple y; 2. Superficie de lámina con una capa de vegetación	143
Figura 5.10. Cubos térmicos en DSB: 1. Lámina simple; 2. Lámina con plantas	143

CAPÍTULO 6

Figura 6.1. Modelo de simulación. A. Vista de la casa y sus colindancias. B. Las mediciones se hicieron en el Bloque 2	149
--	-----

Figura 6.2. Modelo base de la estimación estática	208
---	-----

CAPÍTULO 7

Figura 7.1. Esquema base de partida del diseño	218
Figura 7.2. Sistema aplicado en azotea	219
Figura 7.3. Aplicación directa al sol. La capa superior sirve de pantalla sombra a las inferiores	220
Figura 7.4. Terraza o Roof Garden visitable. Con una malla sombra reduciendo la incidencia de radiación	220
Figura 7.5. Aplicación en cubierta final con malla sombra sobrepuesta. En este caso el aspecto final será menos agradable por interponerse la malla entre la vista y la vegetación	220
Figura 7.6. Sistema aplicado en muros	221
Figuras 7.7. Geometrías posibles de ser naturadas con el Sistema Aligerado de Naturación A. Torre Banobras, obra de Mario Pani, 1962, Tlatelolco, D. F.; B. Restaurante los Manantiales, obra de Félix Candela, 1958, Xochimilco, D. F.; C. Museo Soumaya, obra de Fernando Romero, 2011. Polanco, D. F.;	222

ÍNDICE DE GRÁFICAS

CAPÍTULO 1

Gráfica 1.1 Temperaturas de un techo verde en Alemania durante el verano	25
Gráfica 1.2. Temperaturas de un techo verde en Alemania durante el otoño	26
Gráfica 1.3. Temperaturas a una profundidad de 5 cm. en invierno	27
Gráfica 1.4. Temperaturas de un techo verde de 16cm. durante el invierno	27

CAPÍTULO 3

Gráfica 3.1. Abasto de agua en el D. F.	64
Gráfica 3.2. Uso del agua abastecida por la red	65
Gráfica 3.3. Uso del agua autoabastecida	65
Gráficas 3.4 y 3.5. Balance hidrológico de la Cuenda de Valle de México	80

CAPÍTULO 4

Gráfica 4.1. Rango de actividad fotosintética	94
Gráfica 4.2. Conductividad considerada desde el punto de estabilización	125
Gráfica 4.3. Comportamiento del calor específico	126

CAPÍTULO 5

Gráfica 5.1. Temperaturas interiores de los tres cubos. Medición 1	136
Gráfica 5.2. Diferenciales de temperatura: Lámina-Planta; y Poliestireno-Planta. Medición 1	137
Gráfica 5.3. Temperaturas interiores de cubos: Plantas, Lámina, Poliestireno y T ext. Medición 2	139
Gráfica 5.4. Diferenciales de teperatura Lámina-Planta, Poliestireno-Planta y T ext-Planta. Medición 2	139
Gráfica 5.5. ΔT de Lámina – Plantas en los 8 días medidos. Medicón 2	140
Gráfica 5.6. Temperatura interior de cubos Horizontales y T ext. Medición 3	142
Gráfica 5.7. Diferenciales de temperatura entre Lámina-Planta, y T ext-Planta. Medición 3	142

Gráfica 5.8. Medición del comportamiento térmico de los cubos simulados en Design Builder	145
Gráfica 5.9. Diferenciales de temperatura de los cubos simulados en Design Builder	145
Gráfica 5.10. Comparación de las condiciones reales y virtuales de la medición y los resultados	146

CAPÍTULO 6

Gráficas 6.1. A. Temperaturas al interior del espacio y B. Temperaturas por elemento arquitectónico. Marzo	158
Gráficas 6.2. A. Temperaturas al interior del espacio y B. Temperaturas por elemento arquitectónico. Mayo	159
Gráficas 6.3. A. Temperaturas al interior del espacio y B. Temperaturas por elemento arquitectónico. Junio	160
Gráficas 6.4. A. Temperaturas al interior del espacio y B. Temperaturas por elemento arquitectónico. Septiembre	161
Gráficas 6.5. A. Temperaturas al interior del espacio y B. Temperaturas por elemento arquitectónico. Diciembre	162
Gráficas 6.6. A. Temperaturas al interior del espacio y B. Temperaturas por elemento arquitectónico. Mayo	163
Gráficas 6.7. A. Temperaturas al interior del espacio y B. Temperaturas por elemento arquitectónico. Mayo	164
Gráficas 6.8. A. Temperaturas al interior del espacio y B. Temperaturas por elemento arquitectónico. Junio	165
Gráficas 6.9. A. Temperaturas al interior del espacio y B. Temperaturas por elemento arquitectónico. Septiembre	166
Gráficas 6.10. A. Temperaturas al interior del espacio y B. Temperaturas por elemento arquitectónico. Diciembre	167
Gráficas 6.10.1. A, B y C. Porcentaje promedio de todas las simulaciones, de los días que entran en disconfort, comparativo entre los modelos de Concreto Simple y Concreto Naturado; B. Porcentaje mensual de días con sobrecalentamiento; C. Porcentaje mensual de días con bajocalentamiento nocturno	168
Gráficas 6.11. A. Temperaturas al interior del espacio y B. Temperaturas por elemento arquitectónico. Marzo	169
Gráficas 6.12. A. Temperaturas al interior del espacio y B. Temperaturas por elemento arquitectónico. Mayo	170
Gráficas 6.13. A. Temperaturas al interior del espacio y B. Temperaturas por elemento arquitectónico. Junio	171
Gráficas 6.14. A. Temperaturas al interior del espacio y B. Temperaturas por elemento arquitectónico. Septiembre	172
Gráficas 6.15. A. Temperaturas al interior del espacio y B. Temperaturas por elemento arquitectónico. Diciembre	173
Gráficas 6.16. A. Temperaturas al interior del espacio y B. Temperaturas por elemento arquitectónico. Marzo	174
Gráficas 6.17. A. Temperaturas al interior del espacio y B. Temperaturas por elemento arquitectónico. Mayo	175
Gráficas 6.18. A. Temperaturas al interior del espacio y B. Temperaturas por elemento arquitectónico. Julio	176
Gráficas 6.19. A. Temperaturas al interior del espacio y B. Temperaturas por elemento arquitectónico. Septiembre	177
Gráficas 6.20. A. Temperaturas al interior del espacio y B. Temperaturas por elemento arquitectónico. Diciembre	178
Gráficas 6.20.1. A Porcentaje promedio de todas las simulaciones, de los días que entran en disconfort, comparativo entre los modelos de Concreto Simple y Concreto Naturado; B. Porcentaje mensual de días con sobrecalentamiento; C. Porcentaje mensual de días con	179

bajocalentamiento nocturno.	
Gráfica 6.21. Desempeño mensual comparativo en diciembre	180
Gráfica 6.22. Desempeño de un día representativo	181
Gráfica 6.23. Diferenciales de temperatura DT entre Temperatura exterior – Losa de concreto con plantas; y Losa de concreto simple – Losa de concreto con plantas. Para el 21 de diciembre	181
Gráfica 6.24. Desempeño mensual comparativo en mayo	182
Gráfica 6.25. Desempeño de un día representativo	183
Gráfica 6.26. Diferenciales de temperatura DT entre Temperatura exterior – Losa de concreto con plantas; y Losa de concreto simple – Losa de concreto con plantas. Para el 21 de diciembre	183
Gráfica 6.27. Desempeño mensual comparativo en diciembre	184
Gráfica 6.28. Desempeño de un día representativo	185
Gráfica 6.29. Diferenciales de temperatura DT entre Temperatura exterior – Losa de lámina con plantas; y Losa de lámina simple – Losa de lámina con plantas. Para el 21 de diciembre	185
Gráfica 6.30. Desempeño mensual comparativo. Mayo	185
Gráfica 6.31. Desempeño de un día representativo	186
Gráfica 6.32. Diferenciales de temperatura DT entre Temperatura exterior – Losa de lámina con plantas; y Losa de lámina simple – Losa de lámina con plantas. Para el 21 de mayo	187
Gráfica 6.33. Desempeño mensual comparativo de todos los sistemas. Diciembre	188
Gráfica 6.34. Desempeño mensual comparativo de todos los sistemas. Mayo	188
Gráfica 6.35. Consumo eléctrico mensual comparado	191
Gráfica 6.36. Comparación anual en magnitud	192
Gráfica 6.37. Comparación porcentual	192
Gráfica 6.38. Generación de calor en base a gas, mensual comparado	194
Gráfica 6.39. Generación de calor a gas, anual en magnitud	194
Gráfica 6.40. Generación de calor a gas, comparación porcentual	195
Gráfica 6.41. Comparativo de CO2 emitido mensualmente	197
Gráfica 6.42. Emisión de Co2 en magnitud anual	198
Gráfica 6.43. Emisiones de CO2 en porcentaje anual	198
Gráfica 6.44. Consumo eléctrico mensual comparado	199
Gráfica 6.45. Comparación anual en magnitud	200
Gráfica 6.46. Comparación porcentual	200
Gráfica 6.47. Generación de calor en base a gas, mensual comparado	202
Gráfica 6.48. Generación de calor a gas, anual en magnitud	202
Gráfica 6.49. Generación de calor a gas, comparación porcentual	203
Gráfica 6.50. Comparativo de CO2 emitido mensualmente	205
Gráfica 6.51. Emisión de Co2 en magnitud anual	206
Gráfica 6.52. Emisiones de CO2 en porcentaje anual	206



Nombre: Edwin Israel Tovar Jiménez
 Profesión: Arquitecto
 Lugar de nacimiento: Distrito Federal, México
 E-mail: orieste@gmail.com

ESCOLARIDAD

- 1992-1997 Licenciatura en arquitectura "Universidad Autónoma Metropolitana, plantel Xochimilco".
- 2009-2010 Estudios de Especialización en Arquitectura Bioclimática. Universidad Autónoma Metropolitana plantel Azcapotzalco. Becario de CONACYT.
- 2010-2011 Actual. Estudios de Maestría en Diseño. Línea de investigación Arquitectura Bioclimática. Universidad Autónoma Metropolitana plantel Azcapotzalco. Becario de CONACYT.

EXPERIENCIA LABORAL Y FORMACION

2010-2011: Colaborador externo del Laboratorio de Arquitectura Bioclimática (LAB), UAM-Azc, en el proyecto *"Desarrollo y validación de una metodología para estimar los impactos en el ahorro de energía por el uso de sistemas pasivo - constructivos en la edificación para diferentes climas de México."* Fondo SENER-CONACYT.

- Colaborador del LAB UAM-Azc, en el proyecto de investigación *"Reglamentación y Normatividad para Arquitectura Bioclimática"* por la Red de Arquitectura Bioclimática, Programa PROMEP.
- Asistencia al curso de Especialización *"Uso del programa Energy Plus"*. CIE, UNAM, Temixco.
- Asistencia al Seminario "Experiencia Internacional en Normatividad Ambiental para la Arquitectura", en la Universidad de Colima, Colima.
- Remodelación de hotel Cillout Flat, edificio catalogado por INBA, Centro Histórico, D. F.
- Remodelación de departamento particular en edificio catalogado por INBA, Centro Histórico, D. F.
- Ponencia y publicación del trabajo "Potencial bioclimático de la vegetación nativa de México aplicada en envolventes arquitectónicas como dispositivo de control térmico". En la XXXIV SEMANA NACIONAL DE ENERGÍA SOLAR, ANES. Guanajuato, Guanajuato.

2008-2010: Participación en el Seminario "Red de Cuerpos de Investigación en Arquitectura Bioclimática. UAM-Azc.

- Curso "Sustentabilidad Urbana y Confort en Edificaciones" impartido por John Martin Evans. UAM
- Curso de Especialización "Introducción al uso de Programa Energy Plus, con la Interfaz gráfica Design Builder". A Distancia, impartido en el Centro de Investigación en Energía, Temixco, UNAM.
- Asistencia a la XXXIII Semana Nacional de Energía Solar, Guadalajara, México.

2005-2009: Coordinador del Programa Nacional de Espacios Expositivos con motivo del Bicentenario Independencia y Centenario Revolución mexicana de la SCT. Unidad de Apoyo al Cambio Estructural de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

- Estudio urbano para el establecimiento del Museo Itinerante Casa del Agua, a encargo del GDF, para la empresa Grupo Mundo.
- Estudio Ambiental y Urbano para el establecimiento del Museo Nacional de los Instrumentos Musicales, Cuitzeo, Michoacán. Para CONACULTA, como parte de Donikeba, S. C.
- Estudio Urbano en Zona Oriente, para el establecimiento del Centro Cultural Mexiquense de Oriente. Con Donikeba, A. C. Para el Gobierno del Estado de México.

- Montaje Museográfico de la Exposición “Geografías de la luz” de Alejandro Nava, en la Semana Cultural de Zacatecas, Zacatecas. A encargo del autor en coordinación con la Secretaría de Cultura del Estado.

2002-2005: Director Arquitectónico del Consejo Cívico Cultural Cinco de Mayo, en el Proyecto de Rescate Ambiental y Urbano de la Unidad Cívico Cultural 5 de Mayo, en la Ciudad de Puebla, Puebla (zona de Los Fuertes de Loreto y Guadalupe). Desarrollando diseño y coordinación de proyectos urbanos, arquitectónicos, montajes museográficos, arquitectura de paisaje y gestión cultural.

2001-2002: Coordinador Arquitectónico del Consejo Cívico Cultural Cinco de Mayo, en el Proyecto de Rescate Ambiental y Urbano de la Unidad Cívico Cultural 5 de Mayo (zona de Los Fuertes). Desarrollando diseño y coordinación de proyectos urbanos, arquitectónicos, montajes museográficos, arquitectura de paisaje y gestión cultural.

1999-2001: Participación en la empresa Donikeba, A. C., Museografía, Arquitectura y Urbanismo.

1999 mayo-noviembre: Trabajos en el área de restauración en la empresa Reutilización y Arquitectura.

1999 febrero: Ganador del Primer lugar del concurso de composición musical y video de Universal Music, realizando un viaje a Italia.

1999 abril: Ganador del “Primer concurso de fotografía juvenil de la Ciudad de México”. GDF. Rama la ciudad y sus monumentos.

1999 abril: Ilustración fotográfica y textos de la obra del arq. Eugenio Urquiza Fernández de Jáuregui para la publicación del libro “cincuenta años de arquitectura mexicana, INBA” y su exposición en España.

1998 junio-diciembre: Levantamiento y desarrollo de proyecto para la Restauración y Reutilización del Museo de Arte Virreinal de Guadalupe, Zacatecas. Desarrollo del proyecto arquitectónico de U.M.F. para el I.M.S.S., en Santiago Tulantepec, Hidalgo, como parte de “Arqui-volta, S.A de C.V.”

1998: Participación en el taller de documentación, en el área de Reutilización de la UAM Xochimilco.

1997- 1998: Remodelación en la Clínica No. 20 de Cuernavaca, Morelos. Remodelación en la clínica del IMSS de Cuautla, Morelos. Remodelación de la clínica No. 1 de Cuernavaca, Morelos.

1997: Propuesta arquitectónica, para la reutilización del edificio histórico “ Ex -Hospital de la Sta. Cruz”, como Centro Botánico - Cultural, en Oaxtepec, Morelos. Anteproyecto dentro del Taller de Reutilización de Espacios preexistentes, UAM-X, a encargo del IMSS Oaxtepec.

1997- Septiembre: Representante por la UAM-X en el XIII Premio Nacional a la Composición Arquitectónica Alberto J. Pani. UNAM.

1996- 1997: Diplomado en “Mesoamérica, un acercamiento a la cultura arquitectónica y urbana de seis ciudades”. Casa de la Primera Imprenta. UAM.

1996-1997: Fundador y vicepresidente del primer Capítulo estudiantil del American Concrete Institute, sección Centro y Sur de México, ACI.

PUNTOS COMPLEMENTARIOS

Manejo de programas: Design Builder, Autocad, 3D Studio, Photoshop, Corel Draw, Paquetería MS. Office manejo básico de Archicad.

Idioma: Francés básico. Inglés certificado de comprensión de textos. Cursos de comprensión y traducción en lengua Náhuatl.

Dominio de campos de fotografía y museografía.